

Teemu Laitamäki

# **Lämmöntalteenotto jätevedestä hotellikäytössä**

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-Tekniikka

Tekijä: Teemu Laitamäki

Työn nimi: Jäteveden lämmöntalteenotto hotellikäytössä

Ohjaaja: Tapani Palmunen

Vuosi: 2018 Sivumäärä: 52 Liitteiden lukumäärä: 5

---

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin Seinäjoella sijaitsevaan Sokos Hotel Vaakunaan asennettavaa Ecowec-jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää. Hotellin ja sen ravintoloiden jätevesille tehtiin lämpötilamittaukset sekä arvioitiin niiden jätevesivirtaamia käyttöasteiden perusteella. Näiden tietojen pohjalta laskettiin potentiaaliset lämpötehot ja tehtiin kannattavuuslaskelmat. Työssä tutkittiin hotelliasiakkaan mahdollista vedenkulutusta, käytiin läpi erilaisia jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä sekä tehtiin sähköpostitse kyselytutkimus kaukolämpölaitosten suhtautumisesta jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiin.

Kyselytutkimuksen vastausten perusteella voidaan todeta, ettei kaukolämpölaitoksilla ole lähtökohtaisesti mitään asiakkaan energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä vastaan. Kaukolämpölaitokset kuitenkin toivoivat, että järjestelmät suunniteltaisiin alusta lähtien yhteistyössä kaukolämpölaitoksen kanssa.

Seinäjoen kaukolämpöhinnoilla tämän kokoisesta hotellista voidaan saada noin 8 678 € vuosittainen säästö jäteveden mukana menetettävän lämpöenergian talteenotolla. Kun tätä vuosittaista säästöä verrataan Vaakunan järjestelmän 130 000 € investointihintaan, voidaan todeta takaisinmaksuajan nousevan noin 15 vuoteen, ottamatta huomioon lämpöpumpun oletettua 15 vuoden käyttöikää. Investointihinnassa pitää kuitenkin huomioida, että se pitää sisällään muitakin kuluja hankkeen vaativuuden ja muita järjestelmiä varten tehtyjen varausten takia. Energiatuen, hyvän suunnittelun, sekä Green Key- sertifikaatista saadun epäsuoran hyödyn avulla voi järjestelmän takaisinmaksuaika lyhentyä huomattavasti.

Avainsanat: jätevesi, lämmön talteenotto, vedenkulutus, majoitusala, ravitsemisala, energiankulutus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Technology

Author: Teemu Laitamäki

Title of thesis: Heat recovery from wastewater in a hotel environment.

Supervisor: Tapani Palmunen

Year: 2018      Number of pages: 52      Number of appendices: 5

---

The purpose of this thesis was to examine a wastewater heat recovery system that is being installed at the time of writing at Sokos Hotel Vaakuna in Seinäjoki. The temperature of wastewater was measured at the hotel and its two restaurants. Waste water flows were estimated based on the potential water usage of the hotel guests and the restaurants. Potential heat energy and monetary saving per hotel guest and restaurant serving were calculated based on the gathered data. As a part of this thesis there was an inquiry sent to district heating companies to find out how heat recovery from wastewater might affect them. Based on the results of the inquiry it can be concluded that the district heating companies have generally nothing against actions that improve the energy efficiency of their customers. However, the companies wished that the heat recovery systems would be designed in co-operation with them.

Based on the calculations, the expected yearly savings achieved with the heat recovery system at hotel Vaakuna should be around 8 678 € per year. When compared to the investment price of 130 000 € the expected payback time should be around 15 years. The expected operating life for the heat pump is around 15 years, and the repairs needed after this might slightly lengthen the payback time. However, the investment price also contains other expenses due the difficult nature of the project. With energy aid granted by the Ministry of Economic Affairs and Employment, good planning, and possible indirect benefit gained from Green Key- certificate, the payback time could be significantly shorter.

Keywords: wastewater, heat recovery, water usage, accommodation sector, restaurant sector, energy consumption

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	9
2 HOTELLIEN VEDENKÄYTTÖ.....	10
2.1 Yleistä .....	10
2.2 Green Key -sertifikaatti.....	11
3 LÄMMÖNTALTEENOTTO JÄTEVEDESTÄ .....	12
3.1 Yleistä .....	12
3.2 Rakennusmääräykset .....	13
3.3 Kaukolämpölaitosten suhtautuminen .....	15
3.4 Toimintaperiaate .....	16
3.5 Lämpöpumppu .....	16
3.6 Markkinoilla olevia LTO-järjestelmiä.....	18
3.6.1 Huber Thermwin .....	18
3.6.2 Finess Heat.....	19
3.6.3 Wasenco Ecowec .....	20
4 SOKOS HOTEL VAAKUNA .....	22
4.1 Yleistä .....	22
4.2 Mittalaitteet.....	22
4.3 Lämpötilamittaukset .....	24
4.4 Mittaustulokset .....	25
4.4.1 Mittauspiste 1 .....	25
4.4.2 Mittauspiste 2.....	27
5 LASKENTA .....	30
5.1 Hotellihuoneiden jätevesivirtaamien arviointi .....	30
5.1.1 Työmatkalaisen arvioitu vedenkulutus .....	31
5.1.2 Lomamatkalaisen arvioitu vedenkulutus .....	31

5.2 Ravintoloiden jätevesivirtaamien arviointi .....	32
5.3 Lämmöntalteenoton tehon laskennan kaavat.....	32
5.4 Muut laskentakaavat .....	34
5.5 Lämmitystehon laskelmat.....	37
5.5.1 Hotellihuoneiden ja baaritiskin jätevesien lämpöteho.....	38
5.5.2 Amarillon ja Talriikin keittiöiden jätevesien lämpöteho .....	39
5.6 Kannattavuuslaskelmat .....	40
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>43</b>
6.1 Huomioita tulosten tarkasteluun .....	43
6.2 Tulosten yhteenveto.....	45
6.3 Takaisinmaksuaika.....	46
6.4 Huomioita tulosten jatkohyödyntämiseen.....	47
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>49</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>52</b>

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Grant Squirrel 2010.....	23
Kuva 2 Eristetty mittausanturi. ....	24
Kuvio 1. Kerrostalon lämpötase (Wasenco 4.1.2018).....	12
Kuvio 2. Esimerkki lämmöntalteenoton toimintaperiaatteesta (RakMK D1 2007, 8). .....	14
Kuvio 3. Kylmäprosessin periaatekaavio. ....	17
Kuvio 4. Huber thermwin (Huber 10.1.2018).....	19
Kuvio 5. Finessin LTO-järjestelmän periaatekuva (Finess 10.1.2018).....	20
Kuvio 6. Ecowec hybridivaihdin (Kierrätä energia talteen Ecowec hybridivaihtimella 10.1.2018).....	21
Kuvio 7. Mittauspiste 1:n mittaustulokset. ....	26
Kuvio 8. Mittauspisteen 1 statistiikka. ....	27
Kuvio 9. Mittauspisteen 2 mittaustulokset. ....	28
Kuvio 10. Mittauspisteen 2 statistiikka. ....	29
Kuvio 11. Mitoituskuva C1 määrittämiseen (Tehomitoitus lämpöpumppuun 16.2.2018).....	33
Kuvio 12. Mitoituskuva C2 määrittämiseen (Tehomitoitus lämpöpumppuun 16.2.2018).....	33

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>°C</b>	Celsius, Lämpötilan yksikkö.
<b>COP</b>	Coefficient Of Performance, ilmoittaa millaisella hyötysuhteella lämpöpumppu siirtää lämpöä. Luku ilmoittaa saadun lämpötehon per yksi käytetty sähköwatti.
<b>Harmaa jätevesi</b>	Jätevesi, jossa ei ole kiinteitä jätteitä, esimerkiksi suihkut ja pesualtaat.
<b>Kierukkavaihdin</b>	Lämmönvaihdin, jonka toiminta perustuu vaihtimen säiliön sisällä olevaan spiraalimaiseen putkeen, jonka sisällä lämpöä luovuttava aine kulkee. Lämpöenergia siirtyy putken seinämän läpi toiseen aineeseen.
<b>kW</b>	Kilowatti, tuhat wattia.
<b>kWh</b>	Kilowattitunti, tuhat wattituntia.
<b>m<sup>3</sup></b>	Kuutiometri, tilavuuden yksikkö, tuhat litraa.
<b>Kylmäaine</b>	Aine, jolla todella matala höyrystymislämpötila. Käytetään esimerkiksi lämpöpumpun kylmäprosessissa.
<b>Käyttövesi</b>	Rakennuksen vesijohdoissa kiertävä puhdas juomavesi.
<b>l</b>	Litra, tilavuuden yksikkö.
<b>Lämmön talteenotto/LTO</b>	Järjestelmä, jolla pyritään ottamaan talteen jonkin taloteknisen järjestelmän poiskuljettamaa lämpöenergiaa sen uudelleenkäyttöä varten.
<b>Lämmönvaihdin</b>	Laite, jolla pyritään siirtämään lämpöenergiaa eri nesteistä ja kaasuista toiseen.
<b>MWh</b>	Megawattitunti, tuhat kilowattituntia.

<b>Musta jätevesi</b>	Jätevesi, jossa mukana myös kiinteitä jätteitä, esimerkiksi WC-istuimen jätevesi.
<b>Rakennuksen lämpötase</b>	Rakennuksen eri lämmönlähteistä sisään tuleva lämpöenergia sekä rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien poiskuljettama lämpöenergia. Sisälämpötilan pysyessä muuttumattomana täytyy rakennukseen tuoda yhtä paljon lämpöenergiaa kuin sitä poistuu.
<b>Runkoviemäri</b>	Viemäriputki, johon viemärijärjestelmän muut viemärit johdetaan. Esimerkiksi suihkun jätevesi johdetaan rakennuksen sisäiseen runkoviemäriin, joka edelleen johdetaan kunnallisen jätevesiverkoston runkoviemäriin.
<b>s</b>	sekunti, ajan yksikkö
<b>Tehollinen tilavuus</b>	Nesteen tilavuus, jonka pumppu tyhjentää käynnistyskertaa kohden.
<b>W</b>	Watti, Tehon yksikkö. Ilmoittaa montako joulea on käytetty tai tuotettu sekunnissa.
<b>Wh</b>	Wattitunti, tuotettu tai käytetty teho watteina tunnin ajan. Sähkö ja lämpöenergian hinta ilmoitetaan yleensä kilowattitunteina.
<b>Välppäys</b>	Prosessi, jossa aineesta poistetaan ylimääräiset suuret partikkelit.



## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Seinäjoella sijaitsevaan Sokos Hotel Vaakunaan asennettavaa Ecowec-jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää. Kohteessa ei ole tarkkaa vesimittausta, joilla pystyttäisiin erottelamaan hotellihuoneiden ja ravintoloiden käyttämiä vesimääriä. Nämä vedenkulutukset pyritään arvioimaan mahdollisten vedenkulutusten kautta. Hotellin ja ravintoloiden jätevesien lämpötiloille suoritetaan lämpötilamittaukset, jotta laskelmissa päästäisiin vertailukelpoisiin tehonlaskelmiin. Teholaskelmien pohjalta tehdään kannattavuuslaskelmat, joiden avulla tarkastellaan hotellin ja sen ravintoloiden vaikutusta lämmöntalteenoton tehoon ja takaisinmaksuaikaan.

Opinnäytetyössä selvitetään Suomen rakennusmääräysten vaikutusta jäteveden lämmöntalteenottoon sekä vesi- ja kaukolämpölaitosten toimitusehtojen asettamia mahdollisia rajoitteita LTO-järjestelmälle. Osana työtä suoritettiin pienimuotoinen sähköpostikysely suomalaisille kaukolämpölaitoksille, jossa selvitettiin kaukolämpölaitosten suhtautumista jäteveden lämmöntalteenottoon. Opinnäytetyössä selvitettiin suomalaisten mahdollista vedenkulutusta päivittäisessä elämässä sekä yksinkertaisia tapoja, joilla vedenkulutusta voitaisiin pienentää.

## 2 HOTELLIEN VEDENKÄYTTÖ

### 2.1 Yleistä

Kestävä kehitys on jo pitkän aikaa ollut esillä ja siitä on kehittynyt myös imagokysymys yrityksille. Energiatehokkaan rakentamisen hyödyt näkyvät markkinoinnin lisäksi myös kustannuksissa. Kun energiätehokkuuteen panostetaan, päästään selviin säästöihin tinkimättä asuinmukavuudesta.

Suomalaisten vedenkulutus on varsin henkilöstä riippuvaa, noin 90-270 litraa vuorokaudessa, josta noin 40 % on lämmintä vettä. Noin 40 % päivittäisestä vedenkulutuksesta tulee peseytymisestä. (Ympäristöosaava 19.2.2018.)

Normaali suihku käyttää noin 12 litraa vettä minuutissa, kun taas vettä säästävä suihku kuluttaa noin 9 litraa. Vanhojen suihkuhanojen virtaama saattaa nousta jopa 18 litraan minuutissa. Hankkimalla vettä säästävät suihkupäät, saattaa hankinta maksaa itsensä vesilaskussa takaisin jo muutamassa kuukaudessa. (Kuluttajaliitto 20.2.2018.)

Vanhemmanmallinen wc-istuin saattaa yhdellä huuhtelukerralla viedä 9 litraa tai jopa 12 litraa vettä. Vaihtamalla nykyaikaiseen, kaksitoimiseen istuimeen putoaa vedenkulutus pienellä huuhtelulla noin 2 litraan ja suurella huuhtelulla 4 litraan istuimen mallista riippuen. (Kuluttajaliitto 20.2.2018.)

Hotellikäytössä kun kyse ei ole asiakkaan omasta vesilaskusta, voi henkilön ympäristötietoisuudesta riippuen suihkussa mennä todellakin kauan. Esimerkiksi 10-minuuttinen suihku kuluttaisi normaalilla suihkuhanalla 120 litraa vettä.

Vedenkulutuksen vähentämiseen panostettaessa voidaan päästä huomattaviin säästöihin. Esimerkiksi Sokos Hotels ilmoittaa Helsingissä sijaitsevan Sokos Hotel Albertin vedenkulutuksen pudonneen jopa 40 % sen jälkeen, kun hotelliin asennettiin Green Key -ympäristöohjelman mukaiset vesikalusteet (Sokos Hotels 2016).

## 2.2 Green Key -sertifikaatti

Green Key on kansainvälinen turistialan sertifikaatti, joka pyrkii kannustamaan ja ylläpitämään ympäristöystävällisten toimintatapojen käyttöä. Green Keyllä on omat kriteeristöt hotelleille ja leirintäalueille. Kriteereistä löytyy ohjeet ja vaatimukset niin sähkön, veden kuin lämmityksen ympäristöystävälliseen käyttöön. (Green Key Global 19.2.2018.)

Vedenkulutuksen vähentämiseksi hotelleissa annetaan mm. seuraavat ohjeet:

- Uudet wc-istuimet ovat vettä säästäviä (vedenkulutus max. 6 litraa huuhtelukerralla).
  - Uudet wc-istuimet on varustettu kaksoishuuhtelulla: 3/6 litraa.
- Vähintään 75%:ssa suihkuista virtaama on max. 9 l/min.
  - Suihkuveden virtaamaa voi pienentää esim. seuraavin teknisin toimenpitein:
    - vaihtamalla vettä säästäviin suihkupäihin
    - kahvan ja letkun väliin asetettavin virtaussäätimin/ poresuuttimin
    - vedenpainetta säätämällä
- Vähintään 75%:ssa vesihanoista virtaama on max. 8 l/min.
- Uudet astianpesukoneet ovat vettä säästäviä laitteita, joissa vedenkulutus on max. 3,5 l/kori. (Green Key Finland 2016.)

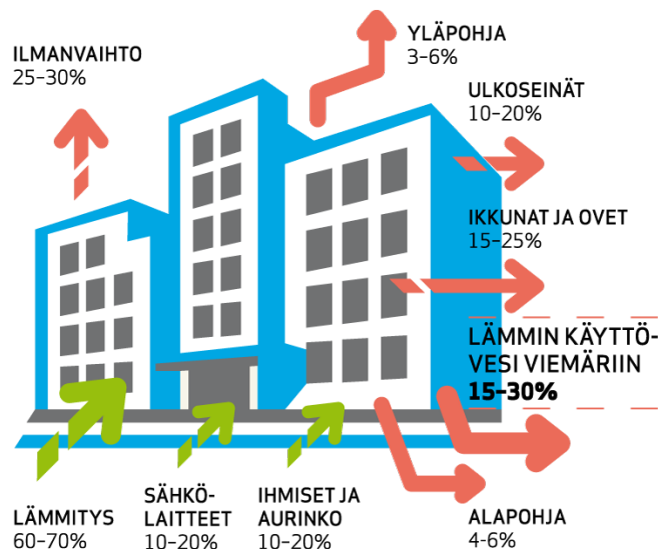
Näiden vaatimusten lisäksi sertifikaatti velvoittaa tai antaa pisteitä esimerkiksi asiakkaiden ohjeistamisesta ympäristöystävällisyyteen, jätteiden käsittelystä ja sen sisältämän energian hyödyntämisestä. Sertifikaatissa annetaan pisteitä kaikesta talteen otetusta hukkalämmöstä, kuten jäteveden ja ilmastoinnin lämmöntalteenotosta. (Green Key Finland 2016.)

### 3 LÄMMÖNTALTEENOTTO JÄTEVEDESTÄ

#### 3.1 Yleistä

Nykyisin noin viidennes kuvion 1 mukaisen rakennuksen lämpötaseen poistoenergiasta menee hukkaan jäteveden mukana. Tämä osuus tulee kasvamaan tulevaisuudessa rakenteiden ja ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantuessa, jolloin seinärakenteiden ja ilmanvaihdon kautta hukkaan menevä lämpö jää entistä vähäisemmäksi. (Wasenco 4.1.2018.)

#### LÄMPÖTASE ASUINKERROSTALOSSA



Kuvio 1. Kerrostalon lämpötase (Wasenco 4.1.2018).

Jäteveden lämmöntalteenotto on Suomessa vielä todella vähän käytetty, lukuun ottamatta joitakin jätevesilaitoksia. Kiristyvien rakennus- ja energiamääräysten johdosta tarvitaan kuitenkin uusia keinoja säästää energiaa. (Wasenco 4.1.2018.)

Varsin suurena hidasteena lämmöntalteenottoon jätevedestä on ollut aikaisempien järjestelmien tarve erotella niin sanotut harmaat ja mustat jätevedet toisistaan ennen lämmöntalteenottoa. Järjestelmät, jotka eivät vaadi eri tyyppisten jätteiden erottelua, ovat yleistymässä. Näin voidaan olettaa, että myös kannattavuus ja kysyntä yleistyvät. (Wasenco 4.1.2018.)

## 3.2 Rakennusmääräykset

Vuoden 2018 alusta Suomen rakennusmääräyskokoelma päivitettiin perustuslain edellyttämään muotoon, jossa annetuissa asetuksissa esitetään vain sitovat määräykset. Käytännön toteutukseen viittaavat suositukset tullaan kokoamaan erilliseksi ohjeistukseksi, jota ei kirjoittamisen aikaan ole julkaistu. (Ympäristöministeriö 2017.)

Tämä uusi asetus vesi- ja viemärilaitteistosta ei ota suoraan kantaa jäteveden lämmöntalteenottoon ja ainoana epäsuorasti vaikuttavana kohtana on 2. luvun 5. momentti:

Vesihuoltolaitoksen verkostoon liitettyllä vesilaitteistolla ei saa olla suoraa yhteyttä muusta vesilähteestä vetensä saavaan vesilaitteistoon, viemärilaitteistoon tai erityiseen vesilaitteistoon. Vesilaitteistossa käytettävien tuotteiden on oltava talousveden johtamiseen soveltuvia. Vesilaitteiston on oltava sellainen, että torjutaan veden takaisinimeytymisestä sekä nesteiden ja kaasujen sisään tunkeutumisesta johtuva pilaantumisvaara. Jos vesijohto sijaitsee pilaantuneessa maaperässä tai pilaantumisvaara on olemassa, on käytettävä diffuusiotiivistä putkimateriaalia. (Finlex 2017.)

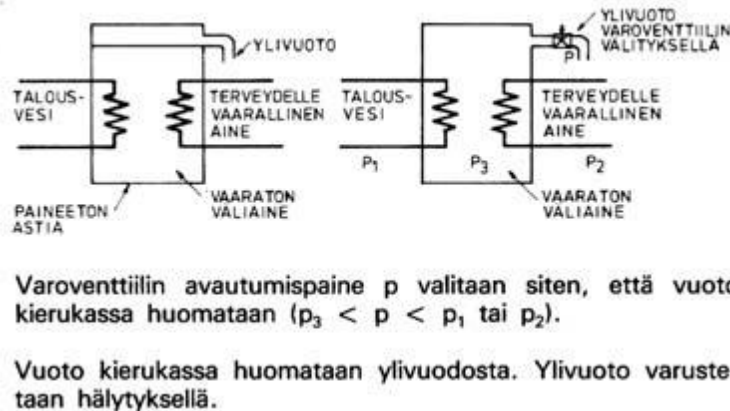
Aikaisemmista rakennusmääräyksistä löytyy muutamia määräyksiä sekä ohjeita, jotka vaikuttavat jäteveden lämmöntalteenoton toteutukseen, ja voivat jossain muodossa tulla löytymään myös uusista ohjeista. Tärkeimpänä aikaisemmista määräyksistä LTO- järjestelmää ajatellen voidaan pitää RakMK D1 kohtaa 2.3.4:

### 2.3.4 Määräys

Vesilaitteisto on tehtävä sellaiseksi, että torjutaan veden takaisinimeytymisestä sekä nesteiden ja kaasujen sisään tunkeutumisesta johtuva saastumisvaara. (RakMK D1 2007, 7.)

#### 2.3.4.2 Ohje

Vesijohdot asennetaan siten, että ne eivät joudu kosketuksiin aineiden (jätevesi, kylmäaine, glykoli) kanssa, jotka vuotamalla tai diffundoitumalla putken seinämän läpi voivat saastuttaa veden. Lämmöntalteenottolaitteet ja vastaavat toteutetaan esimerkiksi kuvan 2 periaatetta noudattaen. (RakMK D1 2007, 7.)



Kuvio 2. Esimerkki lämmöntalteenoton toimintaperiaatteesta (RakMK D1 2007, 8).

Käytännössä tämä tarkoittaa, että kuvion 2, ja ohjeen 2.3.4.2 mukaisesti toteutetuna lämpö on ensin siirrettävä jätevedestä väliaineeseen ja väliaineesta käyttöveteen sekoittamatta näitä keskenään. Tällä määräyksellä pyritään välttämään haitallisten aineiden päätyminen käyttöveteen esimerkiksi vuodon takia. Lisäksi mahdollinen vuoto vesi- tai viemärijärjestelmässä lämmönvaihtimen sisällä on pystyttävä havaitsemaan lämmönvaihtimenvaihtimen ulkopuolelta.

Muita huomioitavia aikaisempia määräyksiä ovat RakMK D1 2007, 2.3.3, jonka mukaan on huomioitava, ettei vesilaitteistossa käytettävä materiaali heikennä käyttöveden laatua. Lisäksi LTO-järjestelmään pätee samat säädökset ja ohjeet kuin muutakin viemärijärjestelmää, esimerkiksi viemärin tuuletus ja puhdistusluukkujen sijainti.

Energiamääräyksien vaatimissa laskennoissa jäteveden LTO voidaan ottaa huomioon ympäristöministeriön ohjeen: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, kohdassa 6.3. Tarkempaa ohjeistusta asiasta ei ole, joten energialaskelman tekijällä on tästä vastuu ja toteutetusta laskennasta olisi hyvä olla erillisselvitys. (Energiatehokkuus 2018, 43.)

Ympäristöministeriön määräyksien lisäksi ainakin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden julkaisemassa Vesihuollon yleisissä toimitusehdoissa kielletään viemärivereden jäähdyttäminen niin kylmäksi, että se aiheuttaa viemäriverkostossa jäätymisen vaaraa (HSY 2015, 28). Samanlainen lause löytyy useiden muiden vesilaitosten toi-

mitusehdoista, ei kuitenkaan kaikkien laitosten. On kuitenkin hyvin epätodennäköistä, että viemärivereden lämpötila laskisi näin alas lämmöntalteenoton vaikutuksesta, sillä näin suuri lämpötilan pudotus edellyttäisi, että keruupiirin neste on jääty-mispisteessä.

### 3.3 Kaukolämpölaitosten suhtautuminen

Osana tätä työtä tehtiin pienimuotoinen sähköpostikysely satunnaisille suomalaisille kaukolämpölaitoksille. Kyselyssä selvitettiin kaukolämpölaitosten suhtautumista lämmöntalteenottojärjestelmiin sekä näiden järjestelmien vaikutusta kaukolämpölaitosten toimintaan. Lisäksi tiedusteltiin, onko laitoksen jakelualueella asennettu jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä ja kuinka nämä on toteutettu.

Saatujen vastausten perusteella voidaan todeta, että kaukolämpölaitokset suhtautuvat lähtökohtaisesti myönteisesti kaikkiin asiakkaan energiatehokkuutta parantaviin toimenpiteisiin. Usealta laitokselta kuitenkin toivottiin, että lämmöntalteenotto toteutettaisiin jo suunnitteluvaiheesta lähtien tiiviissä yhteistyössä kaukolämpölaitoksen kanssa.

Suunnittelun avuksi Energiateollisuus RY on julkaissut ohjeen poistoilmalämpöpumpun kytkemisestä kaukolämpötaloon. Ohjeesta löytyy esimerkkikytkennät erillisen lämmönlähteen kytkemiseen kaukolämmön rinnalle. Samaa kytkentäperiaatetta voidaan käyttää myös jäteveden lämmöntalteenoton kytkennässä. Ohjeen esimerkkikytkentäkaaviot löytyvät työn liitteistä 4 ja 5. (Poistoilmalämpöpumppu kaukolämpötaloon ohjeet suunnittelijalle 2017.)

Suurimpana huolenaiheena kaukolämpölaitokset ilmaisivat kaukolämpöveden jäähtymän pysymisen tarpeeksi suurena. Energiateollisuus RY:n Kaukolämmön yleiset sopimusehdot; suositus T1/2017 ottaa veden jäähtymiseen kantaa kohdassa 5.5:

Asiakkaan on huolehdittava siitä, että kaukolämpövesi asiakkaan laitteissa jäähtyy kunakin laskutuskautena keskimäärin vähintään 25 °C ja kaukolämpöverkkoon palaavan veden lämpötila on enintään 65 °C (Energiateollisuus ry 2017, 8).

Kyselyn vastauksissa huomautettiin, että vaikka sopimusehdoissa rajataan paluuveden lämpötilaksi 65 °C, tähän lämpötilaan ei tulisi pyrkiä. Suurempi kaukolämmön jäähtymä nostaa kaukolämpölaitoksen energiatehokkuutta, joten kaukolämpölaitoksille on tärkeää, että laitokselle palaava vesi on jäähtynyt verkostossa tarpeeksi. Jäähtymän pysyminen tarpeeksi suurena saattaa vaarantua, mikäli LTO-järjestelmällä esilämmitetään kaukolämmön lämmönvaihtimelle saapuvaa vettä, jolloin kaukolämmöltä tarvittava energia jää suunniteltua pienemmäksi.

Kaukolämpölaitosten vastauksista voidaan myös huomata jäteveden lämmöntalteenoton olevan tekniikkana suhteellisen uusi. Kyselyyn vastanneiden laitosten tiedossa ei ollut kuin korkeintaan yksittäisiä kohteita, joissa olisi hyödynnetty jäteveden mukana menetettävää lämpöenergiaa.

### **3.4 Toimintaperiaate**

Perusajatukseltaan kaikki LTO-järjestelmät toimivat samalla periaatteella. Jätevesi johdetaan laitteeseen joko painovoimaisesti tai pumppaamalla. Osa järjestelmistä vaatii harmaat ja mustat jätevedet eroteltuina ennen LTO-vaihdinta. Vaihtimen sisällä lämpö siirretään väliaineeseen. Väliaineesta lämpö edelleen siirretään käyttöveteen ja/tai lämmitysjärjestelmään lämpöpumpulla tai erillisellä lämmönvaihtimella.

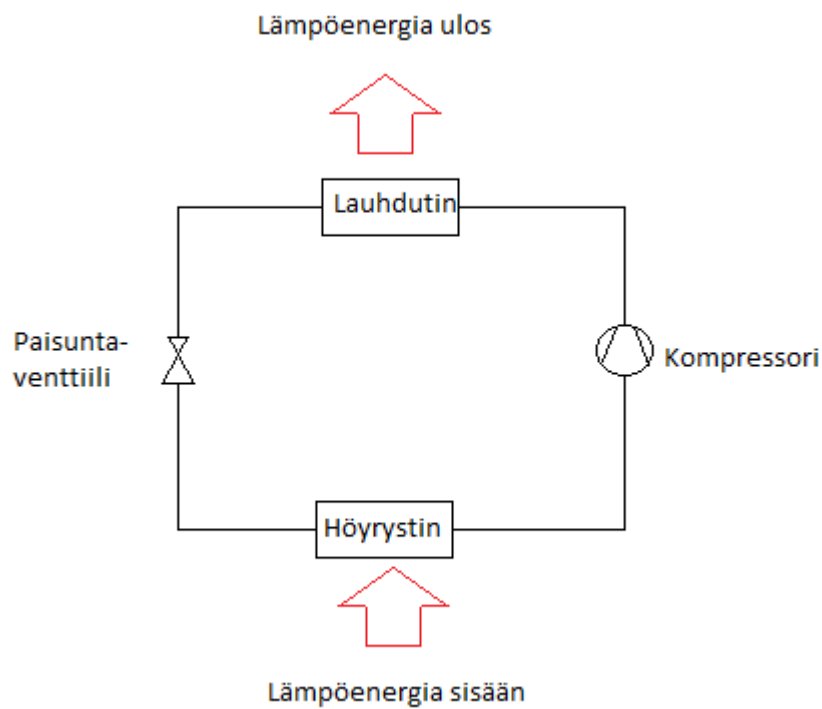
### **3.5 Lämpöpumppu**

Lämpöpumppu on laite, jolla pystytään siirtämään lämpöenergiaa nesteestä tai kaasusta toiseen. Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen olomuodonmuutokseen paineen avulla ja lämpötilojen eroon, eikä varsinaisiin korkeisiin lämpötilaeroihin. Laite siis käyttää hyväksi nesteen paineen vaikutusta höyrystymislämpötilaan. Nostamalla ja laskemalla painetta saadaan neste muuttamaan olomuotoaan. Olomuodon muutos vaatii tai poistaa huomaavan määrän lämpöenergiaa, jonka järjestelmä ottaa ympäristöstä ja vapauttaa takaisin ympäristöön.

Kuvion 3 mukaisesti lämpöpumppu koostuu neljästä osasta:



- Lauhdutin
- Paisuntaventtiili
- Höyrystin
- Kompressori.



Kuvio 3. Kylmäprosessin periaatekaavio.

Kompressori muodostaa imupuolelle alipaineen, jonka avulla varmistetaan höyrystimessä olevan nesteen muuttuminen höyryksi. Kompressori nostaa painepuolella olevan höyryn painetta, kunnes se lauhduttimessa muuttuu takaisin nesteeksi luovuttaen samalla lämpöenergiaa ympäristöön. Lauhduttimelta kylmäaine siirtyy paisuntaventtiilille, joka laskee nesteen painetta mahdollistaen höyrystimen toiminnan. Höyrystimessä kylmäaine muuttuu taas höyryksi ottaen samalla lämpöenergiaa ympäristöstä.

Sijoittamalla lämpöpumpun höyrystin ja lauhdutin eri tiloihin tai aineisiin voidaan lämpöenergiaa siirtää paikasta toiseen paremmalla hyötysuhteella kuin perinteisillä

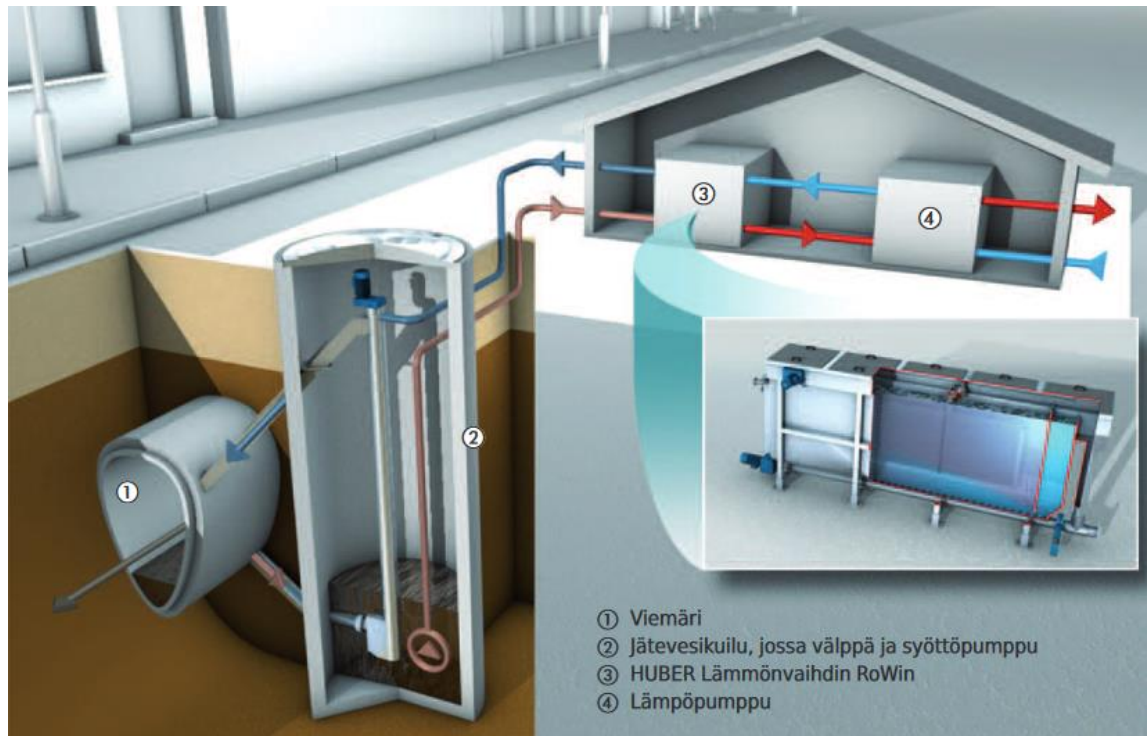
lämmitystavoilla. Suurempana etuna kuitenkin tämä mahdollistaa lämpöenergian siirtämisen pois tilasta, arkipäivän esimerkkinä tästä on jääkaappi tai pakastin.

### **3.6 Markkinoilla olevia LTO-järjestelmiä**

#### **3.6.1 Huber Thermwin**

Huber Thermwin on suuriin laitoksiin tarkoitettu LTO-järjestelmä. Esimerkkikohteina hoitolaitokset, sairaalat ja koulut. Kuvion 4 mukaisesti Thermwin-järjestelmä sisältää 3 osaa: pumppaamon, lämmönvaihtimen sekä lämpöpumpun. (Huber 10.1.2018.)

Järjestelmä siirtää runkoviemäristä jätteen pumppaamoon. Pumppaamossa jätevesi välpätään, jonka jälkeen esivälpätty vesi pumpataan lämmönvaihtimelle. Lämmönvaihtimelta vesi virtaa takaisin runkoviemäriin ottaen mukaansa siitä aikaisemmin erotellun kiintoaineen. (Huber 10.1.2018.)



Kuvio 4. Huber thermwin (Huber 10.1.2018).

Valmistajan mukaan järjestelmä vaatii noin 5 litraa sekunnissa jätevesivirtaaman tehokkaan lämmöntalteenoton takaamiseksi. Huberin mukaan jätevedestä tulisi saada vähintään 40 kW lämpöenergiaa eikä jäteveden lämpötilan tulisi laskea alle 10 celsiusasteen, jotta järjestelmä olisi kannattava. (Huber 10.1.2018.)

### 3.6.2 Finess Heat

Finess Heat -järjestelmällä voidaan kuvion 5 mukaisesti ottaa lämpöä talteen esimerkiksi jäte- ja lauhdevesistä tai hönkähöyryistä. Järjestelmää mainostetaan erityisesti teollisuuspesuloille, elintarviketeollisuuteen ja jätevesilaitoksiin. Muina mahdollisina kohteina ovat uimahallit, sairaalat sekä muu prosessiteollisuus. (Finess 10.1.2018.)



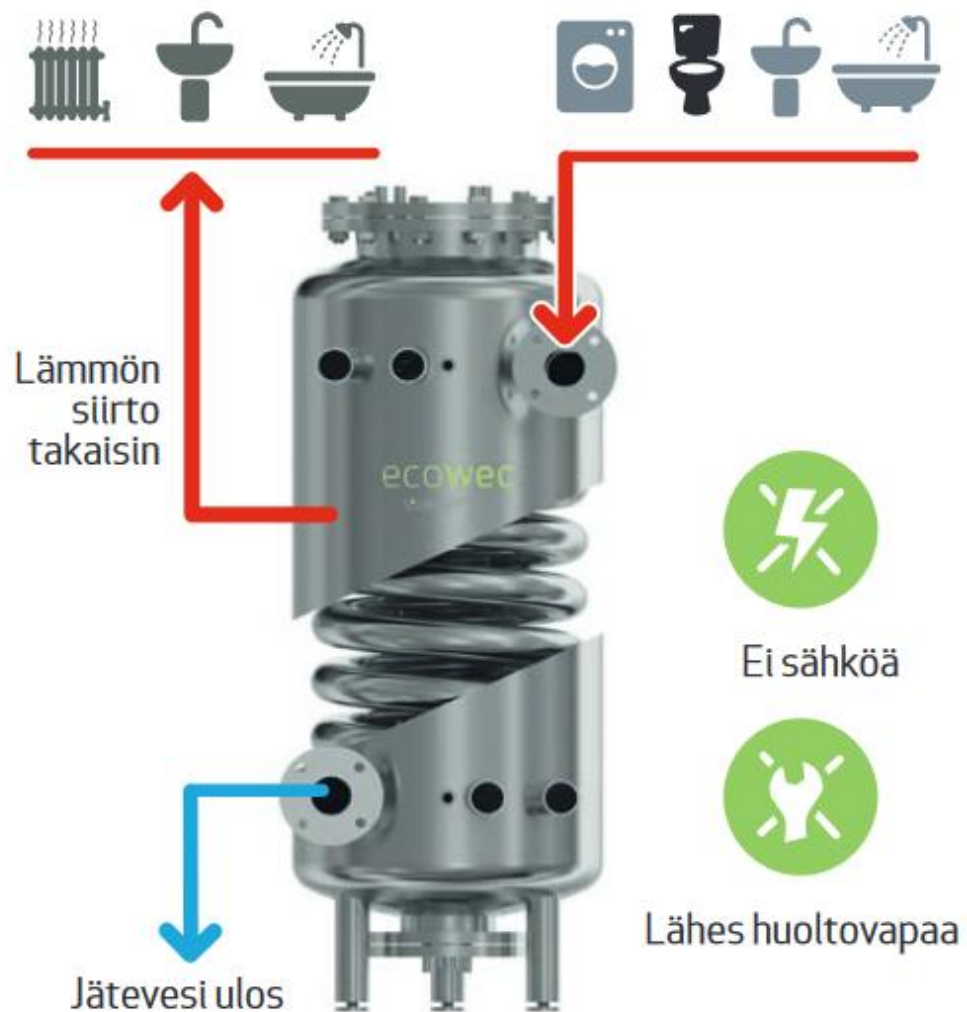
Kuvio 5. Finessin LTO-järjestelmän periaatekuva (Finess 10.1.2018).

Finess Heat -järjestelmä on suunniteltu käyttämään Finessin omaa XTUBE-putki-lämmönsiirrinjärjestelmää, jossa erityyppisille jätteille on suunniteltu aineen ominaisuuksille soveltuva lämmönsiirrin. Siirrettävinä aineina erilaisia partikkeleita sisältävät nesteet, elintarvikejätteet, höyryt sekä korkeapaineiset nesteet. (Finess 10.1.2018.)

### 3.6.3 Wasenco Ecowec

Ecowec on hybridilämmönvaihdin, jolla pystytään ottamaan lämpöä talteen jäteveden lisäksi muista lämmönlähteistä, kuten poistoilmasta, höyryistä, järvi- ja merivedestä sekä auringosta. Mikäli vaihtimeen halutaan liittää esimerkiksi aurinkolämpö, on tälle varattu oma liitäntä vaihtimesta. Ecowec-vaihdin soveltuu niin asuinkiinteistöihin kuin teollisuuteen, uimahalleihin ja sairaaloihin. Ecowec ei vaadi mustien ja harmaiden jätevesien erottelua helpottaen erityisesti asuinrakennuksiin ja saneerauskohteisiin asentamista. (Kierrätä energia talteen Ecowec hybridivaihtimella 10.1.2018.)

Ecowec-vaihtimen toimintaperiaate on kierukkavaihdin. Vaihtimen säiliö täytetään lämpöpumpun keruunesteellä, johon lämpö jätevedestä siirretään säiliön sisällä olevan jätevesikierukan avulla. Kuvion 6 mukaisesti jätevesi johdetaan kierukkaan joko painovoimaisesti tai pumpun avulla. Vaihdin kytketään kiinteistön runkoviemäriin niin, että tarvittaessa vaihdin pystytään ohittamaan, jolloin kiinteistön viemäriverkko toimii normaaliin tapaan. (Kierrätä energia talteen Ecowec hybridivaihtimella 10.1.2018.)



Kuvio 6. Ecowec hybridivaihdin (Kierrätä energia talteen Ecowec hybridivaihtimella 10.1.2018).

## **4 SOKOS HOTEL VAAKUNA**

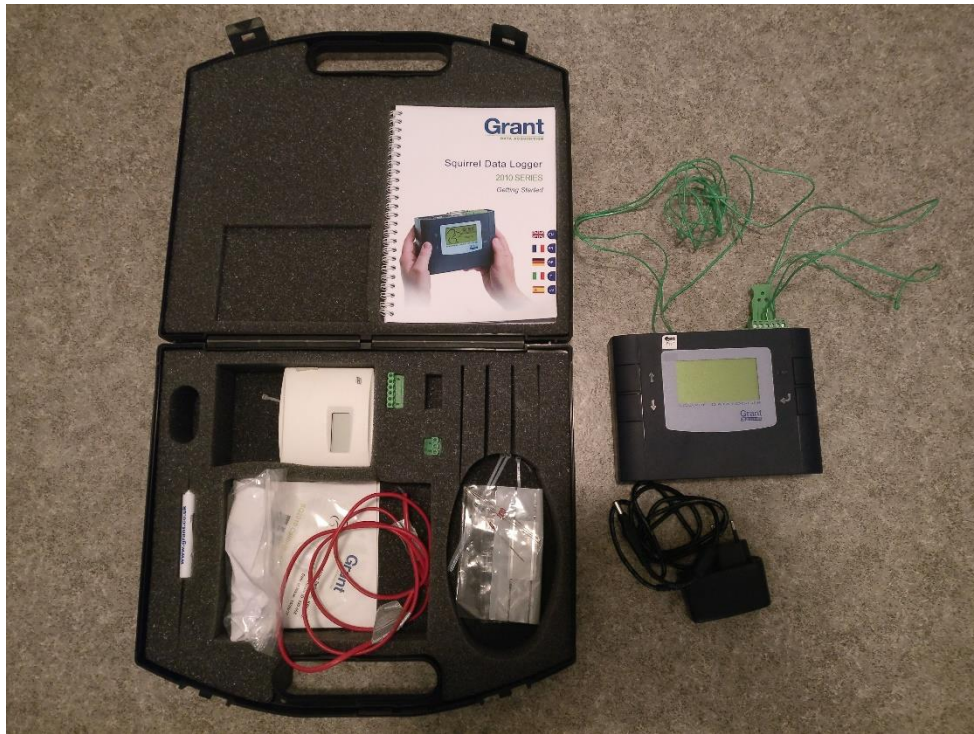
### **4.1 Yleistä**

Hotellissa on opinnäytetyön mittausten aikana menossa remontti, jonka johdosta vain toinen puoli hotellista on asiakkaiden käytössä. Hotellin käyttöasteen ei pitäisi huomattavasti vaikuttaa viemäriveresien lämpötilaan. Lopulliset laskelmat on tehty siitä näkökulmasta, että hotelli on normaalissa käytössä.

Remontin yhteydessä hotellille asennetaan Wasencon Ecowec LTO-järjestelmä lämpöpumppukytkenällä, jossa jätevesi pumpataan vaihtimen läpi alhaalta ylös. Lämpöpumpuksi kohteeseen asennetaan NIBE F1355. Tässä työssä tehdyt tehollaskelmat on tehty kyseisen lämmöntalteenoton valmistajan ohjeiden mukaan. Hotellille asennetaan kaksi kappaletta Ecowec LTO-vaihtimia. Ensimmäinen vaihdin on Ecowec R10, johon johdetaan hotellihuoneista sekä hotellin Talriikki-ravintolan baaritiskin pesukoneesta tulevat vedet. Toinen vaihdin on mallia R8, jolla pyritään ottamaan lämpöä talteen Talriikin keittiön sekä Amarillo-ravintolan keittiön viemäriveresistä.

### **4.2 Mittalaitteet**

Lämpötilojen mittaukseen käytettiin kuvan 1 mukaista Grant instrumentsin Squirrel 2010 -datalogger-laitetta. Laitteella on mahdollista mitata lämpötilojen lisäksi myös sähkövirtaa ja vastusta. (Grant 22.11.2018.)



Kuva 1. Grant Squirrel 2010.

Valmistajan ilmoittama mittaustarkkuus laitteelle on  $\pm 0,10\%$ . Mitatut tulokset on mahdollista tallentaa laitteen muistiin, johon valmistajan mukaan mahtuu 14 miljoonaa mittaustulosta. Mittaustulokset on myös mahdollista lähettää internetin välityksellä reaaliajassa tietokoneelle. (Grant 22.11.2018.)

Mittaustulosten analysointiin käytetään laitteen mukana tulevaa ohjelmistoa. Ohjelmiston avulla on mahdollista lukea mittaustuloksia visuaalisesti käyrältä sekä mittariston mallisilta tauluilta. Mittaustulokset on myös mahdollista siirtää Excel-tiedostoon tulosten jatkoanalyysiä varten. (Grant 22.11.2018.)

Lämpötilan mittaukseen kohteessa käytettiin thermopariin perustuvaa lämpötila-anturia. Thermopariin perustuvassa lämpötilamittauksessa kahdesta eri metallista valmistettu mittapää asetetaan mitattavaa materiaalia vasten. Lämpötilan muuttuessa metallien välinen jännite muuttuu, josta mittalaite laskee lämpötilan. (Wexon 16.2.2018.)



### 4.3 Lämpötilamittaukset

Hotellilla tehtiin mittauksia neljästä eri viemäriputkesta kahdella mittauskerralla. Mittauspisteinä olivat hotellihuoneista tulevat jätevedet, Talriikin baaritiskin pesuvedet sekä molemmilta ravintoloilta tulevat vedet.

Mittaukset tehtiin teippaamalla thermoparin mittauspää viemäriputken alaosaan, putken ulkopinnalle. Tämän jälkeen mittauskohta eristettiin kuvassa 2 näkyvällä tavalla käyttäen solukumieristettä. Mittalaite mittasi kussakin mittauspisteessä noin viikon ajan, maanantaista seuraavan viikon maanantaihin.

Mittaus tehtiin käyttäen kahden sekunnin intervallia. Varsin tiheää intervallia käytettiin, sillä jätevesi kulkee usein ryöppyinä viemäristöä pitkin. Liian harvalla intervallilla on mahdollista, että lämpötila ehtii alkaa laskea ennen sen rekisteröintiä. Vielä tiheämmällä intervallilla olisi ollut riski, että laitteen muisti loppuu kesken mittauksen.



Kuva 2 Eristetty mittausanturi.



#### 4.4 Mittaustulokset

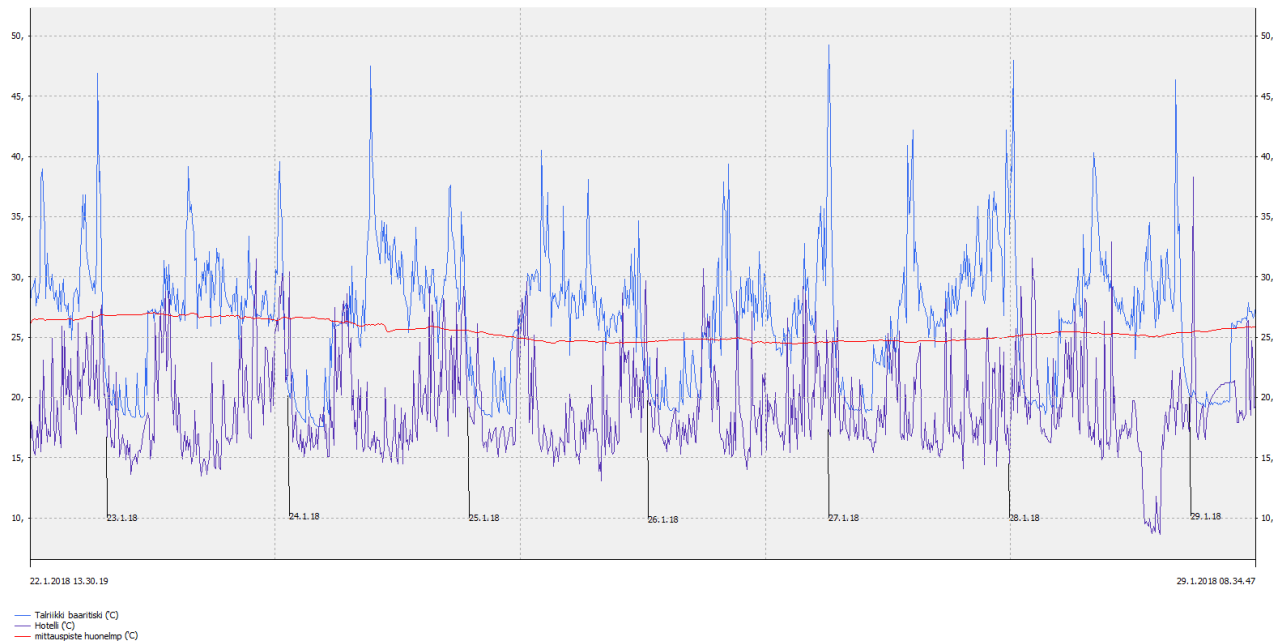
Mittaustuloksien analysointiin käytettiin mittalaitteen omaa ohjelmistoa. Mittaustuloksien käyrästä näkyy pystyakselilta anturin mittaama lämpötila ja vaaka-akselilta mittausajankohta. Ohjelma ei pysty näyttämään vaaka-akselilla tarkkoja aika-arvoja, joten kuvioissa näkyvät vuorokauden vaihdokset on lisätty käsin noin viiden minuutin tarkkuudella. Jätevesien lämpötilojen lisäksi kuvioissa näkyy mittauspisteen huonelämpötila, josta voidaan päätellä, onko huoneessa vallitseva korkea tai matala lämpötila mahdollisesti vääristänyt mittaustuloksia.

Jäteveden keskilämpötiloja tulkittaessa on muistettava, että viemärissä ei ole jatkuvaa virtausta, jolloin todellinen keskilämpötila on hieman korkeampi kuin mitattu. Tätä todellista keskilämpötilaa on pyritty arvioimaan mittauspistekohtaisissa tuloksissa.

Statistiikkakuvioista näkyy mittauksen ajankohta, matalin ja korkein mittaustulos sekä näiden tulosten mittausajankohta. Lisäksi kuvio näyttää keskimääräisen lämpötilan, lämpötilan erotuksen, mittauskertojen määrän sekä mittaustulosten yhteenlasketun summan. Mittauspisteiden tuloksissa olevista kaavioista löytyvät suurempikokoiset versiot työn liitteistä 1 ja 2.

##### 4.4.1 Mittauspiste 1

Mittauspisteen 1 tuloksia tarkasteltaessa kuvioista 7 voidaan todeta hotellihuoneiden jäteveden lämpötilan kohoavan juuri ennen vuorokauden vaihdosta ja laskevan pian puolen yön jälkeen. Tästä voidaan päätellä asiakkaiden vedenkäytön olevan suurimmillaan iltatoimien aikaan. Talriikin baaritiskin pesuvesien lämpötiloissa myös näkyy selvä piikki lähes joka päivä juuri ennen puolta yötä, painottuen hieman viikonloppulle.



Kuvio 7. Mittauspiste 1:n mittaustulokset.

Kuviosta 8 voidaan todeta hotellihuoneiden keskimääräiseksi jäteveden lämpötilaksi 19 °C. Kuvion 7 perusteella voidaan arvioida todellisen keskilämpötilan olevan noin 23 °C. Tämä varsin matala lämpötila selittyy hotellihuoneiden varustelulla. Suurimassa osassa huoneita on WC-istuin, pesuallas sekä suihku, jolloin ainoana suurena lämpimän veden lähteenä on suihku.

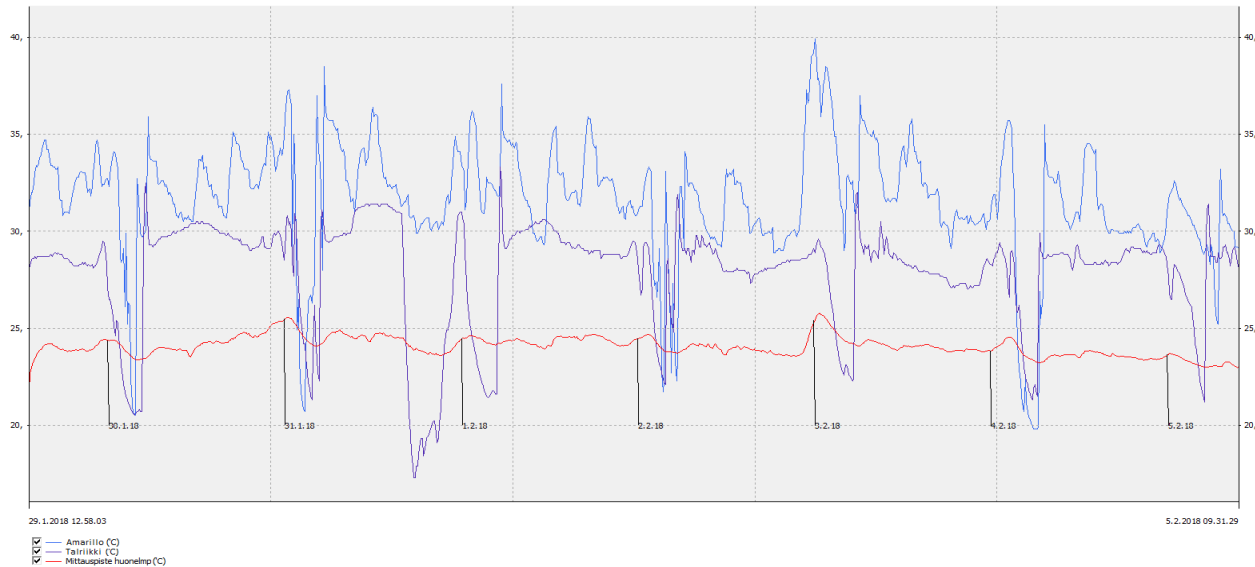
Talriikin baaritiskin pesuvesien keskilämpötilaksi saatiin noin 27 °C. Todellisen keskilämpötilan voidaan arvioida olevan noin 36 °C. Kuten yllä olevasta kuvaajasta voidaan todeta, nousee lämpötila säännöllisesti lähes joka ilta vajaan 50 °C lämpöiseksi. Mittauspisteen huonelämpötila ei vaikuttaisi väärentävän mittaustuloksia.

	Talriikki baaritiski	Hotelli	mittauspiste huonel
Invalid Readings	0	0	0
Total Readings	293535	293535	293535
Statistics Start Time	22.1.2018 13.30.19	22.1.2018 13.30.19	22.1.2018 13.30.19
Statistics Stop Time	29.1.2018 08.34.47	29.1.2018 08.34.47	29.1.2018 08.34.47
Min Reading	17,5	8,6	24,42
Min Reading Time	24.1.2018 03.47.41	28.1.2018 18.40.17	26.1.2018 19.00.19
Max Reading	50,2	39,3	27,03
Max Reading Time	26.1.2018 23.38.33	28.1.2018 01.22.35	23.1.2018 05.55.49
Average	26,8	19,1	25,47
S.D.(n)	5,3	3,8	0,81
Variance(n)	27,7	14,7	0,66
S.D.(n-1)	5,3	3,8	0,81
Variance(n-1)	27,7	14,7	0,66
Sum Of Readings	7856498,4	5615792,6	7475325,73

Kuvio 8. Mittauspisteen 1 statistiikka.

#### 4.4.2 Mittauspiste 2

Mittauspisteen 2 mittaukset suoritettiin Amarillon ja Talriikin ravintoloiden rasvanerotimien lähtevästä päästä, johon myös LTO-vaihdin asennetaan. Molempien ravintoloiden jätevedet laskevat pääsääntöisesti omiin säiliöihinsä. Kuitenkin muutamien viemärien vedet johdetaan toisen ravintolan rasvanerotimeen. Laskennassa ravintoloiden jätevesiä tarkastellaan vesien sekoittumisen jälkeen, jolloin veden lähde ei vaikuta laskentatuloksiin.



Kuvio 9. Mittauspisteen 2 mittaustulokset.

Kuvioista 9 ja 10 voidaan todeta Amarillo-ravintolan keskilämpötilaksi 31,6 °C, todelliseksi keskilämpötilaksi voidaan arvioida 34 °C ja lämpötilojen vaihteluväliksi 19,7- 40,4 °C. Talriikki-ravintolan keskilämpötilaksi mitattiin 27,9 °C ja todelliseksi keskilämpötilaksi voidaan arvioida 29 °C. Vastaavasti alimmaksi ja korkeimmaksi lämpötilaksi saatiin 17,2 °C ja 33,5 °C.

Kuten mittaustuloksista näkyy, Amarillon jätevedet pysyvät lähes koko mittausjakson ajan hieman korkeampana kuin Talriikin. Tämä lämpötilaero selittyy osittain ravintoloiden erilaisista annoksista. Amarillon annokset ovat pääsääntöisesti hampurilaisannoksia, kun taas Talriikissa on huomattavasti enemmän salaattia ja muita kylmiä ruokavaihtoehtoja. Toisena, mahdollisesti suurempana vaikuttavana tekijänä on ravintoloiden yhteisessä käytössä oleva pesukone, jonka vedet johdetaan Amarillon rasvanerottimeen.

	Amarillo	Talriikki	Mittauspiste huonel
Invalid Readings	0	0	0
Total Readings	296204	296204	296204
Statistics Start Time	29.1.2018 12.58.03	29.1.2018 12.58.03	29.1.2018 12.58.03
Statistics Stop Time	5.2.2018 09.31.29	5.2.2018 09.31.29	5.2.2018 09.31.29
Min Reading	19,7	17,2	21,74
Min Reading Time	4.2.2018 05.32.45	31.1.2018 17.17.33	29.1.2018 12.58.03
Max Reading	40,4	33,5	25,81
Max Reading Time	2.2.2018 23.48.37	1.2.2018 05.01.33	3.2.2018 00.20.39
Average	31,6	27,9	24,07
S.D.(n)	3,0	2,8	0,51
Variance(n)	8,9	7,7	0,26
S.D.(n-1)	3,0	2,8	0,51
Variance(n-1)	8,9	7,7	0,26
Sum Of Readings	9370439,8	8264251,2	7128856,83

Kuvio 10. Mittauspisteen 2 statistiikka.

## 5 LASKENTA

Hotellihuoneista ja ravintoloista saatavan jäteveden määrään ei kohteessa työn kirjoittamisen aikana ole tarkkaa mittaustapaa, joten jätevesivirtaamien laskeminen täytyy tehdä arvioimalla vesikalusteiden mahdollisia käyttöaikoja ja ravintola-annosten määrän perusteella saatavia jätevesivirtaamia.

### 5.1 Hotellihuoneiden jätevesivirtaamien arviointi

Hotellissa on 145 huonetta, joissa valtaosassa vesikalusteina on WC-istuin, käsienpesuallas sekä suihku.

Verto OY:n Opas järkevään vedenkäyttöön -oppaan mukaan normaali WC-Istuin, jossa on pieni ja suuri huuhtelu, kuluttaa kaksi ja neljä litraa jokaisella huuhtelukerralla. Laskennassa voidaan olettaa, että asiakas käyttää suurta huuhtelua joka kerta. Normaali suomalainen käy oppaan mukaan vessassa viidestä seitsemään kertaa päivässä. (Verto 2016.)

Pesualtaan hana mitoitetaan RakMK D1:n mukaan 0,1 l/s virtaamalla, jolloin hanasta tulisi vettä noin kuusi litraa minuutissa (RakMK D1 2007, 35). Remontin yhteydessä hotellihuoneiden suihkujen vesimäärä asetetaan yhdeksään litraan minuutissa.

Hotellin asiakkaina käy työmatkalaisia, jotka viipyvät vain illasta aamuun sekä lomamatkailijoita, jotka tulevat hotelliin rentoutumaan. Pääsääntöisesti nämä ryhmät jakautuvat niin, että työmatkalaiset viipyvät arkisin ja lomailijat majoittuvat viikonloppuisin. Tästä syystä laskelmat on syytä jakaa viikolle ja viikonloppulle. Työmatkailijat viipyvät hotellissa vähemmän aikaa, jolloin he myös käyttävät huonetta ja vesikalusteita vähemmän aikaa, kun taas lomailijat saattavat pysyä hotellilla koko viikonlopun ja rentoutua vaikkapa useammalla suihkulla päivässä.

### 5.1.1 Työmatkalaisen arvioitu vedenkulutus

Oletetaan, että viikolla majoittuva työmatkalainen saapuu hotellille iltapäivällä. Hän käy illan mittaan vessassa 2 kertaa ja kerran aamulla. Vessassa käydessään hän pesee käsiä joka kerralla noin 30 sekunnin ajan. Työmatkalainen pesee hampaat aamulla sekä illalla ja juoksuttaa vettä samalla 30 sekunnin ajan per kerta. Hän käy suihkussa nopeasti illalla ja aamulla, ja juoksuttaa vettä noin kuusi minuuttia per kerta.

Työmatkalaisen vedenkulutus päivässä:

- WC-istuimesta:  $3 * 4 \text{ l} = 12 \text{ l}$
- Pesualtaan hanasta:  $30 \text{ s} * 0,1 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 5 = 15 \text{ l}$
- Suihkusta:  $6 \text{ min} * 9 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 2 = 108 \text{ l}$

Luettelosta näkyvien laskelmien perusteella työmatkalla oleva henkilö voisi kuluttaa noin 135 litraa vuorokaudessa.

### 5.1.2 Lomamatkalaisen arvioitu vedenkulutus

Lomailija syö ja juo vierailunsa aikana hyvin ja käy vessassa seitsemän kertaa päivän aikana, ja käyttää käsienpesuun myös 30 sekuntia joka kerralla. Suihkussa lomailija käy aamulla sekä illalla, ottaen pidemmän 10 minuutin suihkun. Hampaiden pesussa lomailija juoksuttaa työmatkalaisen tavoin 30 sekunnin ajan vettä.

Lomailijan vedenkulutus päivässä:

- WC-istuimesta:  $7 * 4 \text{ l} = 28 \text{ l}$
- Pesualtaan hanasta:  $30 \text{ s} * 0,1 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 9 = 27 \text{ l}$
- Suihkusta:  $10 \text{ min} * 9 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 2 = 180 \text{ l}$

Luettelon arvioiden perusteella lomailijan vedenkulutus voisi olla 235 litraa vuorokaudessa.

## 5.2 Ravintoloiden jätevesivirtaamien arviointi

Ravintoloiden keskimääräisen jätevesivirtaaman arviointiin käytettiin rakennusmääräyskokoelma D1:n liitteestä 6 löytyvää rasvanerotinmitoitustaulukkoa. Taulukon mukaan ravintolan keskimääräinen jätevesivirtaama annosta kohden on noin 50 litraa. (RakMK D1 2007, 57.)

Talriikin baaritiskin jätevesimäärän arviointiin käytettiin baarin astianpesukoneen keskimääräistä käyttökertojen määrää sekä pesukoneen pesukertaa kohden käyttämää veden määrää. Pesukone on Electroluxin ammattikeittiökäyttöön tarkoitettu laite, jonka tuotenumero on 9CGX 502118 28. Valmistajalta puhelimitse tiedusteltaessa laitteen vedenkulutukseksi saatiin 3 litraa pesukertaa kohden.

## 5.3 Lämmöntalteenoton tehon laskennan kaavat

Lämmönvaihtimen teho lasketaan laitevalmistajan antaman ohjeen mukaan kaavasta (1) (Tehomitoitus lämpöpumppuun 16.2.2018). Valmistaja ilmoittaa tälle käytöstä pohjaiselle laskennalle noin 10 % virheen verrattuna laskentamallilla tehtyihin tehonlaskelmiin (Ecowec ohje tehomitoituksen laskentaan 2.3.2018).

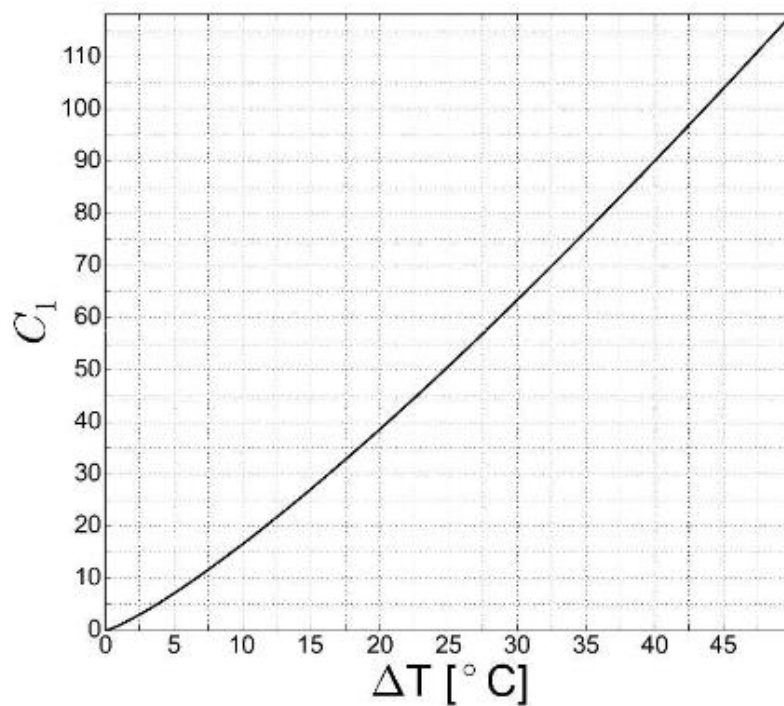
$$\phi = c_1 * c_2 \quad (1)$$

Missä:

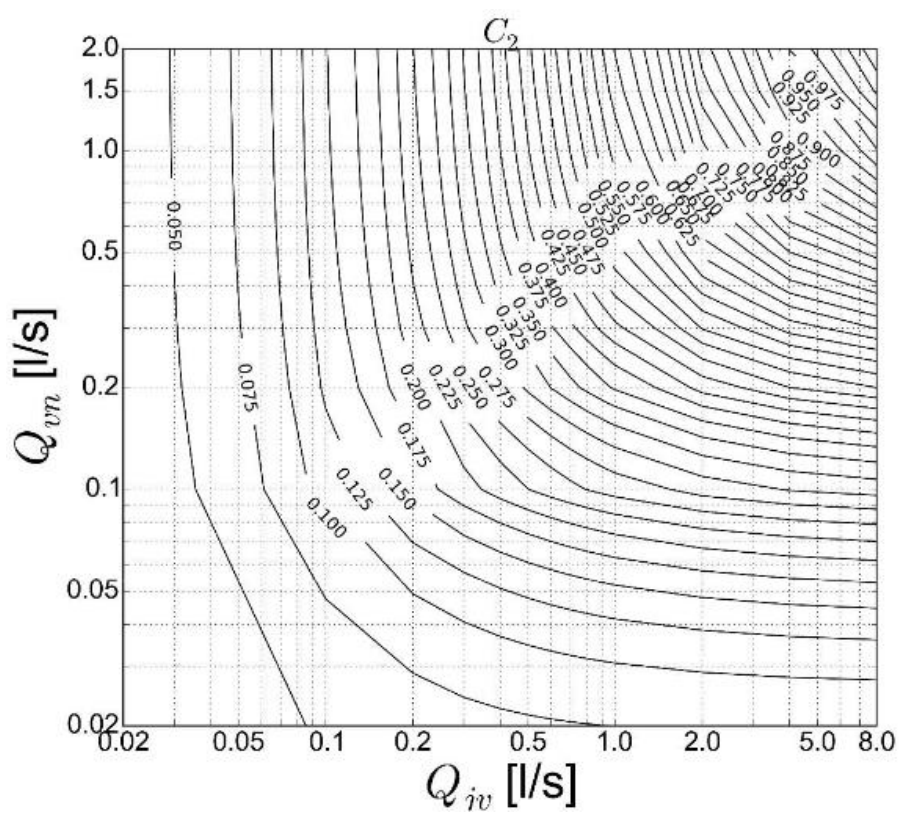
$$\phi = \text{teho [kW]}$$

$c_1$  ja  $c_2$  ovat valmistajan ilmoittamia suureita, jotka määritetään valmistajan tekemien mitoituskuvioiden, kuvat 11 ja 12, perusteella. Mitoituskuvioiden tarvittavat yksiköt ovat  $\Delta T$ , joka on jäteveden ja lämmönkeruupiirin lämpötilojen erotus.  $Q_{jv}$  ja  $Q_{vn}$  vastavasti ovat jäteveden ja lämmönkeruupiirin vaipanesteen tilavuusvirrat litroina sekunnissa.





Kuvio 11. Mitoituskuva C1 määrittämiseen (Tehomitoitus lämpöpumppuun 16.2.2018).



Kuvio 12. Mitoituskuva C2 määrittämiseen (Tehomitoitus lämpöpumppuun 16.2.2018).

## 5.4 Muut laskentakaavat

Hotellihuoneen jätevesivirtaama:

$$Q_{\frac{Jv}{w}} = v_{asiakas} \cdot N \cdot d \quad (2)$$

Missä:

$Q_{\frac{Jv}{w}}$  on jätevesivirtaama litraa viikossa [l/w]

$v_{asiakas}$  on arvioitu vedenkulutus päivässä litroina per asiakas [l/d/asiakas]

$N$  on asiakkaiden määrä päivässä

$d$  on päivää viikossa [d/w]

Viikoittaisen jätevesivirtaaman muuttaminen litroiksi sekunnissa:

$$Q_{Jv} = \frac{Q_{\frac{Jv}{w}}}{604800} \quad (3)$$

Missä:

$Q_{Jv}$  on jätevesivirtaama sekunnissa [l/s]

604800 on kerroin, jolla muutetaan viikko sekunneiksi

päivittäisen jätevesivirtaaman muuttaminen litroiksi sekunnissa:

$$Q_{Jv} = \frac{Q_{\frac{Jv}{d}}}{86400} \quad (4)$$

Missä:

$Q_{jv}$  on jätevesivirtaama sekunnissa [l/s]

$Q_{\frac{jv}{d}}$  on jätevesivirtaama päivässä [l/d]

86400 on kerroin, jolla muutetaan päivä sekunneiksi

Jäteveden ja lämmönkeruupiirin nesteiden lämpötilojen erotus

$$\Delta T = T_1 - T_{vn} \quad (5)$$

Missä:

$\Delta T$  on lämpötilojen erotus [°C]

$T_1$  on jäteveden lämpötila [°C]

$T_{vn}$  on lämmönkeruupiirin nesteen lämpötila [°C]

Lämpöpumpun käyttämä sähköteho

$$P = \frac{\phi}{\eta - 1} \quad (6)$$

Missä:

$P$  on sähköteho [kW]

$\phi$  on keruupiiristä saatava lämpöteho [kW]

$\eta$  on hyötysuhde sähköteho per tuotettu lämpöteho

Pumpun käyntiaika

$$t_{pumppu} = V / v_{pumppu} \quad (7)$$

Missä:

$t_{pumppu}$  on pumpun käyntiaika säilötä kohti [s]

$V$  on säiliön tilavuus [l]

$v_{pumppu}$  on pumpun aiheuttama virtaama [l/s]

Pumpun käyntikertojen määrä tunnissa.

$$N = \frac{60 \text{ s}}{v_{pumppu}} * 60 \text{ min} \quad (8)$$

Missä:

$N$  = pumpun käyntikertojen määrä tunnissa [krt/h]

$V$  on säiliön tilavuus [l]

$v_{pumppu}$  on pumpun aiheuttama virtaama [l/s]

Pumpun käyntiaika tunnissa:

$$t = \frac{N * t_{pumppu}}{3600} \quad (9)$$

Missä:

$t$  on pumpun käyntiaika tunnissa [h]

$N$  on pumpun käyntikertojen määrä tunnissa [krt/h]

$t_{pumppu}$  on pumpun käyntiaika säilötä kohti [s]

3600 on kerroin, jolla muutetaan sekunnit tunneiksi

Pumpun käyttämä sähkö tunnissa:

$$kWh = P * t \quad (10)$$

Missä:

kWh on pumpun käyttämä energiamäärä [kWh]

P on pumpun sähköteho [kW]

t on pumpun käyntiaika tunnissa [h]

Jätevesien sekoittumisen jälkeinen keskilämpötila:

$$t_{yht} = \frac{t_1 \cdot v_1 + t_2 \cdot v_2}{v_1 + v_2} \quad (11)$$

missä:

$t_{yht}$  on jätevesien sekoittumisen jälkeinen keskilämpötila [°C]

$t_1$  on ensimmäisen jäteveden keskilämpötila [°C]

$v_1$  on ensimmäisen jäteveden tilavuusvirta [l/s]

$t_2$  on toisen jäteveden keskilämpötila [°C]

$v_2$  on toisen jäteveden tilavuusvirta [l/s]

## 5.5 Lämmitystehon laskelmat

Suunnittelijan tekemistä kytkentäkaavioista saadaan yhden Ecowec-säiliön lämmönkeruupiirin virtaamaksi 1,2 litraa sekunnissa, ja LTO-keräimelle menevän keruunesteen lämpötilaksi 2 °C. Näitä arvoja käytetään kaikissa tehonlaskelmissa, vaikka niitä ei erikseen mainita mittauspistekohtaisissa laskelmissa. Lämmönkeruupiirin virtaamaa käytetään kaaviossa 12 suureen  $C_1$  selvittämiseen ja keruunesteen lämpötilaa kaavassa (5) lämpötilojen erotuksen laskemiseen.

Laskenta olettaa jätevesivirtaaman kulkevan jatkuvana virtauksena säiliön läpi, todellisuudessa jätevesi kerääntyy repijäpumpun yhteydessä olevaan tankkiin, joka on teholliselta tilavuudeltaan 50 litraa. Tankista jätevesi pumpataan LTO-säiliön kierukkaan. LTO-säiliön ja viemärin koon perusteella voidaan arvioida, että jätevesi viipyy kierukassa vähintään kaksi tankin tyhjennyskertaa. Tästä voidaan olettaa,

että jätevesivirtaama LTO-säiliön läpi on keskimäärin sama kuin jätevesivirtaamien arviosta saatu virtaama.

Koska jätevedestä saatava lämpöteho ei nouse lineaarisesti suhteessa jäteveden virtausnopeuteen, on lämpötehon laskennat tehtävä LTO-keräinkohtaisesti. Ensimmäiseen keräimeen johdetaan mittauspisteen 1 mukaisesti hotellin ja Talriikin baaritiskin jätevedet. Toiseen keräimeen johdetaan molempien ravintoloiden jätevedet. Ecowec LTO-keräimen malli ei vaikuta tehonlaskentaan.

### 5.5.1 Hotellihuoneiden ja baaritiskin jätevesien lämpöteho

Vuonna 2015 Sokos Hotel Vaakunassa majoittui 41 600 henkilöä. Tästä saadaan keskimääräiseksi asiakasmääräksi 114 asiakasta päivässä, eli noin 798 asiakasta viikossa. Jaetaan viikoittainen asiakasmäärä työmatkalaisiin ja lomailijoihin. Hotellilta saadun arvion mukaan tämä jakauma tasoittuu vuoden aikana noin 70 %:iin työmatkalaisia ja 30 %:iin lomamatkailijoita. Tällöin maanantai-torstai-välillä majoituisi noin 559 työmatkalaista, eli 140 työmatkalaista päivässä. Vastaavasti perjantai-sunnuntai-välillä majoittuu 240 lomailijaa, eli 80 lomailijaa päivässä. Kohdassa 5.1 arvioitujen vedenkulutusten perusteella voidaan laskea hotellihuoneiden jätevesivirtaamat kaavasta (2).

Työmatkalaiskauden (ma-to) arvioitu jätevesivirtaama viikossa:

$$135 \frac{\frac{l}{d}}{\text{asiakas}} \cdot 140 \frac{\text{asiakasta}}{d} \cdot 4d = 75\,600 \frac{l}{w}$$

Lomamatkalaiskauden (pe-su) arvioitu jätevesivirtaama viikossa:

$$235 \frac{\frac{l}{d}}{\text{asiakas}} \cdot 80 \frac{\text{asiakasta}}{d} \cdot 3d = 56\,400 \frac{l}{w}$$

Yhteenlaskettuna hotellihuoneista saatava jätevesivirta on 132 000 litraa viikossa.

Tehonlaskennan kaavio vaatii jätevesivirtaaman sekunteina, joka lasketaan kaavalla (3).

$$\frac{132\,000 \frac{l}{w}}{604800} = 0,22 \text{ l/s}$$

Kohdassa 4.4.1 saatujen mittausten mukaan hotellihuoneiden jäteveden keskilämpötilaksi saatiin 23 °C.

Talriikin baaritiskin pesukoneella pestään noin 79 koneellista astioita päivässä. Valmistajalta saadun tiedon mukaan baaritiskin pesukone käyttää noin kolme litraa vettä pesukerralla, jolloin päivittäiseksi jätevesivirtaamaksi saadaan 237 litraa päivässä. Kaavalla (4) tämä saadaan muutettua yksikköön litraa sekunnissa.

$$\frac{237 \frac{l}{d}}{86400} = 0,003 \text{ l/s}$$

Kohdan 4.4.1 mittaustuloksista saadaan baaritiskin jätevesien keskilämpötilaksi 36 °C.

Lasketaan kaavasta (11) jätevesien sekoittumisen jälkeinen keskilämpötila:

$$\frac{23 \text{ °C} * 0,22 \frac{l}{s} + 36 \text{ °C} * 0,003 \frac{l}{s}}{0,22 \frac{l}{s} + 0,003 \frac{l}{s}} = 23,2 \text{ °C}$$

Lasketaan jäteveden ja lämmönkeruupiirin nesteiden lämpötilojen erotus kaavasta (5):

$$23,2 \text{ °C} - 2 \text{ °C} = 21,2 \text{ °C}$$

Yhteenlaskettuna hotellin ja baaritiskin jätevesivirtaama on 0,223 l/s Mitoituskaavioista 11 ja 12 luettuna saadaan määreille  $c_1$  ja  $c_2$  arvot:  $c_1 = 42$  ja  $c_2 = 0,275$ . Sijoitetaan nämä arvot kaavaan (1), josta saadaan baaritiskin jätevesistä saatava lämpöteho:

$$42 \cdot 0,275 = 11,55 \text{ kw}$$

### 5.5.2 Amarillon ja Talriikin keittiöiden jätevesien lämpöteho

Amarillon annosmääräksi ilmoitettiin noin 9 000 annosta kuukaudessa, eli noin 296 annosta päivässä. Arviolla 50 litraa jätevettä annosta kohden saadaan päivittäiseksi jätevesivirtaamaksi 14 800 litraa päivässä. Muutetaan päivittäinen jätevesivirtaama litroiksi sekunnissa kaavalla (4):

$$\frac{14\,800 \frac{l}{d}}{86400} = 0,17 \, l/s$$

Kohdan 4.4.2 mittaustuloksista saadaan Amarillon jäteveden keskilämpötilaksi 34 °C.

Talriikin annosmääräksi ilmoitettiin noin 5 000 annosta kuukaudessa, eli noin 164 annosta päivässä. Arviolla 50 litraa jätevettä annosta kohden saadaan päivittäiseksi jätevesivirtaamaksi 8200 litraa päivässä. Muutetaan päivittäinen jätevesivirtaama litroiksi sekunnissa kaavalla (4):

$$\frac{8200 \frac{l}{d}}{86400} = 0,1 \, l/s$$

Kohdan 4.4.2 mittaustuloksista saadaan Talriikin jäteveden keskilämpötilaksi 29 °C.

Lasketaan kaavasta (11) jätevesien sekoittumisen jälkeinen keskilämpötila:

$$\frac{34 \, ^\circ\text{C} * 0,17 \frac{l}{s} + 29 \, ^\circ\text{C} * 0,1 \frac{l}{s}}{0,17 \frac{l}{s} + 0,1 \frac{l}{s}} = 32,2 \, ^\circ\text{C}$$

Lasketaan jäteveden ja lämmönkeruupiirin nesteiden lämpötilojen erotus kaavasta (5):

$$32,2 \, ^\circ\text{C} - 2 \, ^\circ\text{C} = 30,2 \, ^\circ\text{C}$$

Yhteenlaskettuna ravintoloiden jätevesivirtaamaksi saadaan 0,27 l/s. Kaaviosta 11 ja 12 saadaan arvot:  $c_1=64$  ja  $c_2 = 0,310$ . Lasketaan lämpöteho kaavalla (1):

$$64 \cdot 0,310 = 19,84 \, kw$$

## 5.6 Kannattavuuslaskelmat

Yhteensä hotellin ja ravintoloiden jätevesien potentiaalinen lämpöteho olisi noin 31,4 kW. Lämpöpumpun tuottamaan lämpötehoon vaikuttaa lämmönlähteestä saatu lämpöteho, sekä lämpöpumpun käyttämä sähköteho. Kohteessa käytettävän NIBE F1355 -lämpöpumpun hyötysuhde vaihtelee olosuhteista riippuen. Kytkenä-



kaavioista saadaan lämpöpumpulle tulevan nesteen lämpötilaksi noin 5 °C ja lämpöpumpulta lähtevän veden lämpötilaksi 45 °C, näillä tiedoilla saadaan lämpöpumpun teknisistä tiedoista COP-arvoksi noin 4,4 (NIBE 1.3.2018, 37). Lasketaan lämpöpumpun käyttämä sähköteho kaavasta (6)

$$\frac{31,4 \text{ kW}}{4,4-1} = 9,2 \text{ kW}$$

Kun jätevedestä saatu lämpöteho ja lämpöpumpun käyttämä sähköteho lasketaan yhteen, saadaan järjestelmän antotehoksi 40,6 kW. Kun laskenta olettaa, että lämpöä tuotetaan jatkuvalla syötöllä, saadaan tästä 40,6 kWh per tunti. Kerrotaan tämä 24 tunnilla, saadaan päivittäinen lämmöntuotto, joka olisi 974,4 kWh. Kun tämä kerrotaan 365:llä, saadaan vuosittainen lämmöntuotto 355 656 kWh.

Seinäjoen energian kaukolämpö maksaa 45,2 €/MWh alv 0%, eli 0,0452 €/kWh (Seinäjoen energia kaukolämpöhinnasto 2016). Tästä saadaan vuosittaiseksi säästökseksi 16 076 € ennen LTO-järjestelmän käyttökustannuksia.

Järjestelmän käyttökustannusten selvittämiseksi tarvitaan lämpöpumpun sähköteho sekä energian määrä, jonka jätteen pumppaukseen käytettävä pumppu ottaa. Molempiin hotellille asennettuihin LTO-säiliöihin asennetaan kahdella pumpulla varustettu Grundfors Multilift -repijapumppu, jossa jokaisen pumpun sähköteho on 1,4 kW. Pumppujen tehollinen säiliötilavuus on 50 litraa (Grundfos 2.3.2017). Kytkenä-kaaviosta saadaan pumpun tuottamaksi tilavuusvirraksi 3,5 litraa sekunnissa. Kaavasta (7) saadaan laskettua pumpun tarvitsema aika säiliön tyhjenemiseen:

$$\frac{50 \text{ l}}{3,5 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 14,3 \text{ s}$$

Hotellin ja ravintoloiden yhteenlaskettu jätevesivirta on noin 0,49 litraa sekunnissa, Kaavasta (8) saadaan laskettua, montako kertaa 50 litran säiliö tyhjennetään tunnissa:

$$\frac{\frac{60 \text{ s}}{50 \text{ l}}}{0,49 \text{ l/s}} * 60 \text{ min} = 35,3 \text{ krt/h}$$

Lasketaan kaavasta (9) aika, jonka pumppu pyörii tunnin aikana:

$$\frac{14,3 \frac{s}{krt} * 35,3 \frac{krt}{h}}{3600 s} = 0,14 h$$

Säiliöitä tyhjentäessä pumput käyvät vuorotellen, jolloin pumpun teho on 1,4 kW. Lasketaan pumppujen sähköntarve tunnissa kaavalla (10):

$$1,4 kW * 0,14 h = 0,2 \frac{kWh}{h}$$

Lämpöpumppu käyttää siis tunnissa 9,2 kWh ja repijäpumput 0,2 kWh. Yhteensä tästä tulee 9,4 kWh tunnissa. Päivässä lämmöntalteenoton käyttö vaatii energiaa 225,6 kWh ja vuodessa 82 344 kWh.

Seinäjoen energian yleissähkö maksaa 0,035 €/kWh (Seinäjoen energia sähköhinnasto 2016) + siirtomaksu 0,0259 €/kWh + energiavero 0,0253 €/kWh alv 0% (seivertot verkkopalveluhinnasto 2015) eli yhteensä noin 0,0862 €/kWh. Lämmöntalteenoton käyttökustannukset olisivat tällöin noin 7 098 € vuodessa. Laitteiston huollon aiheuttamia kustannuksia on varsin vaikea arvioida, mutta jos laitteet eivät rikoudu takuuajan jälkeenkään, voidaan arvioida huoltokustannuksien lämpöpumpulle ja repijäpumpuille olevan 300 € vuositasolla. Kun vähennetään lämmöntalteenotosta saadusta hyödystä käyttökustannukset, saadaan vuosittaiseksi hyödyksi noin 8 678 €.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Markkinoilla olevia erilaisia lämmöntalteenottojärjestelmiä tarkasteltaessa voidaan todeta, että asuinkäyttöön soveltuvia järjestelmiä on todella vähän, ainoana saneerauskohteeseen soveltuvana hotellille asennettava Ecowec-järjestelmä. Muiden järjestelmien suurimpina esteinä on selvästi joko niiden vaatima suuri jäteveden määrä tai erityyppisten jätteiden erottelu. Markkinoilla on myös kotikäyttöön tarkoitettuja järjestelmiä, jotka vaativat kokonaan oman viemäröinnin harmaiden vesien viemäreiltä lämmöntalteenotolle tehden asennuksesta todella suuritöisen ja epärealistisen useimmissa tapauksissa.

### 6.1 Huomioita tulosten tarkasteluun

Laskennan tuloksien analysoinnissa on muistettava, että kaikki vedenkulutukset perustuvat olettamuksiin ja todennäköisiin vedenkulutuksiin. Henkilön vedenkulutus on todella yksilöllistä ja tästä johtuen on lähes mahdotonta arvioida tarkkaa vedenkulutusta. Tässä kohteessa ei hotellin pyykinpesun jätevesiä johdeta lämmöntalteenottoon, joten näitä ei ole laskelmissa huomioitu.

Ravintoloiden vedenkulutuksen arviointiin käytettävä ohje on lähtökohtaisesti tarkoitettu rasvanerotinkaivojen mitoitukseen. Tästä johtuen on todennäköistä, että vedenkäytön arvio on hieman yläkanttiin alimitoituksen välttämiseksi. Kyseinen mitoitustaulukko antaa ravintoloiden jätevesimääräksi 50 litraa annosta kohden ja hotellin keittiöille 100 litraa annosta kohden (RakMK D1 2007, 57). Muutamien ravitsemusalalla toimivien henkilöiden palautteen perustella todettiin jälkimmäisen arvion olevan kohtuuttoman suuri tehonlaskennan kannalta, joten laskennassa päädyttiin käyttämään 50 litraa per annos.

Laskelmissa jätevesivirtaama tasautettiin keskimääräiseksi virtaamaksi, jossa oletetaan, että vettä virtaa lämmöntalteenoton läpi tasaisesti ympäri vuorokauden. Todellisuudessa jätevesi kulkee viemärissä usein hetkellisinä ryöppyinä ja kuten kohdan 4.4 lämpötilamittauksista voidaan todeta, yöllä vedenkulutusta ei käytännössä ole ollenkaan. Hotellin ja ravintoloiden asiakasmäärä vaihtelee huomattavasti se-

songin mukaan ja on mahdollista, että talvella lämmitystarpeen ollessa suurimmillaan on hotellin käyttöaste pienimmillään. Repijäpumppujen vaikutuksesta jätevesi ei virtaa tasaisesti LTO-keräimen läpi, vaan pumppujen säiliön sisältö nousee keräimeen, jonka jälkeen jätevesi makaa keräimen kierukassa, kunnes pumppu käynnistyy uudelleen, nostaen vanhan jäteveden pois säiliöstä ja uuden sen tilalle. Tästä syystä pienellä virtaamalla jätevesi kulkee keräimen läpi hitaammin, jolloin hyötysuhde on parempi. Suurella virtaamalla jätevesi kulkee keräimen läpi nopeasti, jolloin lämpö ei kerkeä siirtymään keruunesteeseen ja hyötysuhde on heikompi. Laskennassa oletettiin jätevesivirtaaman olevan jatkuvasti tasaista, jolloin se aiheuttaa virhettä laskentaan. Lisäksi mitoitustaulukot ovat vain suuntaa antavia ja tarkempaan teholaskentaan tarvittaisiin laskentamalli.

Lämpötilamittauksien tuloksia tarkastellessa on huomioitava viemäriputkien materiaali, joka jokaisessa mittauspisteessä on muovi. Muovisella putkella on esimerkiksi valurautaiseen putkeen verrattuna varsin suuri lämmöneristävyys. Tästä johtuen nopeiden lämpötilan nousujen mittautulokset saattavat jäädä hieman todellisuutta matalammaksi. Hiljaisten virtausajankohtien lämpötiloja saattaa nostaa mittauspisteessä vallitseva huonelämpötila. Kun putkessa on minimaalisesti virtausta, saattaa huonelämpötilan vaikutuksesta putkea pitkin johtua lämpöä myös eristeen alla olevaan putkeen ja mittausanturiin. Vodaan kuitenkin olettaa, että putkessa on jatkuvasti edes pieni virtaus. Mittausvirheen minimoimiseksi lämpötila-anturit pyrittiin sijoittamaan putken pohjaan, jossa jatkuva virtaus on todennäköisintä. Mittautuloksista voidaan myös todeta, että yhdelläkään lämpötilakäyrällä ei ole suoraa korrelaatiota huonelämpötilakäyrän kanssa.

KytKentäkaaviosta saadut lämpötilat ja virtaamat ovat vain järjestelmän mitoitukseen. Todellisuudessa lämpöpumppu optimoi virtaamia ja lämpötilat voivat olla korkeampia, jolloin myös hyötysuhde paranee. Myös järjestelmän oikea käyttö, säädöt ja oikeanlainen ylläpito vaikuttavat järjestelmästä saatavaan hyötyyn. Tarkan lämmöntuoton arviointi on kuitenkin lähes mahdotonta ilman reaaliaikaista mittauksia ja laskentaa.

## 6.2 Tulosten yhteenveto

Tässä osiossa näkyvät lämpötehot ovat vain jätevedestä saatavia potentiaalisia lämpötehoja, eikä niissä ole huomioitu lämpöpumpun tuottamaa lisähyötyä saatuun lämpötehoon. Tulosten jatkohyödyntämisessä lämpöpumpun lisäteho on otettava huomioon työn laskelmissa tehdyllä tavalla.

Hotellin ja baaritiskin jätevesivirtaamasta 98,7 % saadaan hotellin jätevedestä ja loppu 1,3 % baaritiskiltä. Tällöin hotellihuoneiden jätevesistä saatava lämpöteho on noin 11,4 kWh/h ja baaritiskin 0,15 kWh/h.

Hotellin 41 600 asiakkaalle jaettuna saadaan hotellihuoneista noin 0,27 Wh/h yhtä vuosittaista asiakasta kohden. Baaritiskin pesukoneella pestään vain juomalaseja ja mukeja. Pesukoneen 79 päivittäiselle koneelliselle jaettuna saadaan lämpötehoksi noin 1,9 Wh/h per pesty koneellinen. Pesukone pesee noin 15 juomalasia pesukerralla.

Ravintoloiden yhteenlaskettu annosmäärä on noin 14 000 annosta kuukaudessa ja lämmön tuotto 19,84 kWh/h. Tällöin annosta kohden saadaan noin 1,42 Wh/h.

Yhteenveto keskilämpötiloista sekä potentiaalisista jätevesivirtaamista ja lämpötehoista Vaakunassa:

- Hotellihuoneet:
  - 41 600 asiakasta vuodessa.
  - jätevesivirtaama 0,22 l/s
  - keskilämpötila 23 °C
  - lämpöteho 11,55 kWh/h
    - 0,27 Wh/h per vuosittainen asiakas
- Talriikin baaritiski:
  - jätevesivirtaama 0,003 l/s
  - keskilämpötila 36 °C
  - lämpöteho 0,15 kWh/h
    - 1,9 Wh/h per koneellinen
- Ravintolat
  - Noin 14 000 annosta kuukaudessa.

- Noin 1,42 Wh/h per ravintola annos
- Yhteenlaskettu keskilämpötila noin 32,2 °C
- Amarillo:
  - jätevesivirtaama 0,17 l/s
  - keskilämpötila 34 °C
- Talriikki:
  - jätevesivirtaama 0,1 l/s
  - keskilämpötila 29 °C

### 6.3 Takaisinmaksuaika

Kohdan 5.6 laskelmista saadaan potentiaalisesti vuosittaiseksi säästöksi Vaakuna-hotellin jäteveden lämmöntalteenotosta 8 678 € alv 0 %. Kun tätä verrataan järjestelmän investointihintaan, joka oli noin 130 000 € alv 0 %, saadaan järjestelmän takaisinmaksuajaksi noin 15 vuotta. Tämä investointihinta kuitenkin sisältää huomattavan määrän rakenneteknisiä muutostöitä, varauksia erilaisille rinnakkaisjärjestelmille ja varsin pitkän lämmönkeruupiirin putkiston. Valmistajalta saadun kommentin perusteella hyvällä suunnittelulla voidaan päästä 20-30 % pienempään investointihintaan vastaavan kokoisessa uudiskohteessa.

Lämpöpumpun kompressorin oletettu käyttöikä on noin 15 vuotta, jonka jälkeen on lämpöpumpun kunnosta riippuen vaihdettava joko kompressor tai koko lämpöpumppu, mikä aiheuttaa 2 000–20 000€ lisäinvestoinnin.

Tulevaisuudessa, kun ympäristöä säästäviä toimenpiteitä arvostetaan ja huomioidaan entistä enemmän, saattaa järjestelmä maksaa itsensä takaisin myös epäsuorasti saatavan hyödyn avulla, kuten esimerkiksi järjestelmästä saatavilla pisteillä Green Key -sertifikaatin arvostelussa. Ympäristöystävällisistä toimenpiteistä on muodostunut selvä painopiste markkinoinnissa ja tätä kautta saatavaa hyötyä on vaikea arvioida rahallisesti. Lisäksi Työ- ja elinkeinoministeriöltä on mahdollista saada energiatukea, joka energiansäästöä edistävissä investoinneissa on suurille yrityksille enimmillään 30 % investointikustannuksista (Työ- ja Elinkeinoministeriö 2018). Eli hyvän suunnittelun ja Elinkeinoministeriön tuen avulla järjestelmän lopullinen takaisinmaksuaika voi jopa puolittua. Tulevaisuudessa opinnäytetyön tuloksia

tulisi verrata järjestelmästä saataviin mittaustuloksiin ja järjestelmästä saatavaa todellista hyötyä arvioida tältä pohjalta. Samalla järjestelmän toimintaa voidaan optimoida ja hyötysuhdetta parantaa.

#### 6.4 Huomioita tulosten jatkohyödyntämiseen

Järjestelmästä saatu lämpöteho ei kasva lineaarisesti suhteessa jätevesivirtaamaan. Esimerkiksi hotellin ja sen ravintoloiden asiakasmäärän tuplaantuessa kasvaisi saatu lämpöteho vain noin 35 %. Eli jos asiakasmäärä tuplaantuisi, putoaisi takaisinmaksuaika vain noin 11 vuoteen. Työn laskelmien pohjalta voidaan kuitenkin arvioida tapauskohtaisesti, millaisiin takaisinmaksuaikoihin päästään, kun tiedetään investointihinta, hotellin asiakasmäärä sekä paikallinen kaukolämmön ja sähkön hinta. Tehonsaannin suhteen muutoksen takia on järkevää tehdä uudet laskelmat, mikäli arvioitavana olevan kohteen asiakasmäärä poikkeaa työssä käytetyistä määristä yli 30 %. Arviota tehdessä on myös syytä huomioida, että Vaakuna-hotellille asennettiin kaksi kappaletta LTO-keräimiä, yhteen keräimeen johdettuna tehonsaanti olisi huomattavasti matalampi. Vaakunan jätevedet johdetaan LTO-vaihtimen läpi alakautta repijäpumpulla. Painovoimaisesti ylhäältä alas johdettuna saatu lämpöteho on hieman matalampi, mutta tällöin säästytään repijäpumppujen käyttökustannuksilta.

Yhteenlaskettuna hotellin jätevesivirtaama on 0,49 l/s, mikä tarkoittaa vuodessa kulutusta 15 463 m<sup>3</sup>. Kun tätä arviota verrataan hotellin vuoden 2015 vedenkäyttöön 10 700 m<sup>3</sup>, voidaan todeta arvioidun vedenkäytön poikkeavan noin 30 %. Vaikka arviossa ja todellisessa vedenkulutuksessa on jonkin verran eroa, saadaan työssä tehdyistä laskelmista hyvä arvio siitä, millaisia lämpötehoja ja rahallista hyötyä hotellin ja ravintoloiden viemärivereden lämmöntalteenotosta on mahdollista saada.

Energian hinnoissa saattaa olla huomattavia eroja vuodenajasta ja paikkakunnasta riippuen. Seinäjoen kaukolämmön hinta oli varsin alhaalla työn kirjoittamisen aikaan. Pääsääntöisesti kaukolämmön ja sähkön hinnat kuitenkin vaihtelevat samassa suhteessa toisiinsa nähden. Tästä syystä saadun rahallisen hyödyn määrä ei pitäisi huomattavasti vaihdella hintojen vaihtelusta huolimatta. Rahallinen hyöty

kuitenkin kasvaa, mikäli kaukolämmön hinta nousee huomattavasti suhteessa sähkön hintaan.

Kaukolämmön hinnat ovat olleet pienessä nousussa viimeisen vuosikymmenen (Kaukolämmön hintagraafit 6.3.2018, 4). Sähkön hinta on pääsääntöisesti noussut viimeisen vuosikymmenen aikana, mutta hinnassa on ollut suuriakin pudotuksia vuosikymmenen alkupuolella (Sähkön hinta, 8.3.2018). Tämän perusteella on mahdollista, että hintojen erotus nousee lyhentäen järjestelmän takaisinmaksuaikaa.



## LÄHTEET

- Ecowec ohje tehomitoituksen laskentaan. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavana: <http://wasenco.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Ecowec-ohje-tehomitoituksen-laskentaan.pdf>
- Energiatehokkuus. 2018. Ympäristöministeriö; Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, ohjeet. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.3.2018]. Saatavana: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>
- Energiateollisuus ry. 2017. Kaukolämmön yleiset sopimusehdot. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.2.2018]. Saatavana: [https://energia.fi/files/1796/Suositus\\_T1\\_2017\\_Kaukolammon\\_yleiset\\_sopimusehdot.pdf](https://energia.fi/files/1796/Suositus_T1_2017_Kaukolammon_yleiset_sopimusehdot.pdf)
- Finess. Ei päiväystä. Lämmön talteenottojärjestelmät. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.1.2018]. Saatavana: <http://www.finess.fi/fi/heat/lto-laitteistot/>
- Finlex. 22.12.2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista [Verkkosivu]. [Viitattu 13.3.2018]. Saatavana: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047#Pidp450988000>
- Grant. Ei päiväystä. Squirrel SQ2010 Data logger. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.11.2018]. Saatavana: <http://www.grantinstruments.com/squirrel-sq2010-data-logger/#tabs-0>
- Green Key Finland. 2016. Kriteeristö 2016-2020. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavana: <http://greenkey.fi/wp-content/uploads/2014/12/Green-Key-kriteerist%C3%B6-hotellit-2016-2020.pdf>
- Green Key global. Ei päiväystä. Our programme. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavana: <http://www.greenkey.global/our-programme/>
- Grundfos. Ei päiväystä. Multilift. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavana: [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjVkleV3M3ZAhVC\\_ywKHaYTAjIQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fnet.grundfos.com%2FAppI%2Fccmsservices%2Fpublic%2Fliterature%2Ffile-data%2FGrundfosliterature-4112612.pdf&usq=AOvVaw33xDALK8v-hepe6yLd9GXD](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjVkleV3M3ZAhVC_ywKHaYTAjIQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fnet.grundfos.com%2FAppI%2Fccmsservices%2Fpublic%2Fliterature%2Ffile-data%2FGrundfosliterature-4112612.pdf&usq=AOvVaw33xDALK8v-hepe6yLd9GXD)
- HSY. 2015. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä; Vesihuollon yleiset toimitusehdot. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.1.2018]. Saatavana: [https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/toimitusehdot\\_vesihuolto\\_2015web.pdf](https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/toimitusehdot_vesihuolto_2015web.pdf)

- Huber OY. Ei päiväystä. Lämmön talteenotto jätevedestä: HUBER ThermWin®. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.1.2018]. Saatavana: <http://www.huber.fi/res/Pdf/ThermWin.pdf>
- Kaukolämmön hintagraafit. 6.3.2018. Energiateollisuus; Kaukolämmön hintagraafit. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.3.2018]. Saatavana: [https://energia.fi/files/2423/KaukolammonHintagraafit\\_20180306.pptx](https://energia.fi/files/2423/KaukolammonHintagraafit_20180306.pptx)
- Kierrätä energia talteen Ecowec hybridivaihtimella. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.1.2018]. Saatavana: [http://www.ecowec.com/wp-content/uploads/2017/05/ecowec\\_A4.pdf](http://www.ecowec.com/wp-content/uploads/2017/05/ecowec_A4.pdf)
- Kuluttajaliitto. Ei päiväystä. Vedenkulutus. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.2.2018] Saatavana: <http://www.kuluttajaliitto.fi/tietopankki/vastuullinenkuluttaminen/sahko-vesi-lampo-ja-vastuullinen-kuluttaminen/vedenkulutus/>
- NIBE. Ei päiväystä. Asentajan käsikirja; NIBE F1334. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.3.2018]. Saatavana: <https://www.nibe.fi/nibedocuments/23891/331994-3.pdf>
- Poistoilmalämpöpumppu kaukolämpötaloon ohjeet suunnittelijalle. 2017. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 13.3.2018] Saatavana: [https://energia.fi/files/2137/Poistoilmalampopumppu\\_kaukolampotaloon\\_ohjeet\\_suunnittelijalle.pdf](https://energia.fi/files/2137/Poistoilmalampopumppu_kaukolampotaloon_ohjeet_suunnittelijalle.pdf)
- RakMK D1. 2007. Ympäristöministeriön asetus kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoista. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 4.1.2018]. Saatavana: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8486B3D1-BC1D-451F-9BC8-3A661C0AD2B5%7D/134434>
- Seinäjoen energia kaukolämpö hinnasto. 2016. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.3.2018]. Saatavana: <https://www.seinajoenenergia.fi/documents/key20180301111004/pdf/kl-hinnasto-09112017.pdf>
- Seinäjoen energia sähköhinnasto. 2016. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavana: [https://www.seinajoenenergia.fi/Sahkon\\_hinnat](https://www.seinajoenenergia.fi/Sahkon_hinnat)
- Seiverkot verkkopalveluhinnasto 2015. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.3.2018]. Saatavana: <https://www.seinajoenenergia.fi/Hinnasto>
- Sokos Hotels. 2016. Tunnusluvut. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavana: <https://www.sokoshotels.fi/fi/tietoa-meista/vastuullisuus-sokos-hotelleissa/tunnusluvut>
- Sähkön hinta. Ei päiväystä. Hintatilastot. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.3.2018]. Saatavana: <http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>
- Tehomitoitus lämpöpumppuun. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.2.2018]. Saatavana: <http://wasenco.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Ecowec-tehomitoitus-l%C3%A4mp%C3%B6pumppuun.pdf>

Työ- ja Elinkeinoministeriö. 2018. Tuettavat hankkeet ja tuen enimmäismäärät. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.3.2018]. Saatavana: <http://tem.fi/tuettavat-hankkeet>

Verto OY. 2016. Opas järkevään vedenkäyttöön. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.2.2018]. Saatavana: [https://vercon.studio.crasman.fi/file/dl/i/tbGE-A/7Kzp4hS-xz5iU\\_zdcWBCUg/Verto-Vedenkayttoopas-2016.pdf](https://vercon.studio.crasman.fi/file/dl/i/tbGE-A/7Kzp4hS-xz5iU_zdcWBCUg/Verto-Vedenkayttoopas-2016.pdf)

Wasenco oy. Ei päiväystä. Jäteveden lämmön talteenotto. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.1.2018]. Saatavana: <http://wasenco.com/jateveden-lammon-talteenotto/>

Wexon. Ei päiväystä. Lämpötila-anturit. [Verkkosivu]. [16.2.2018]. Saatavana: <http://www.wexon.fi/tuotteet/lampotila/lampotila-anturit/>

Ympäristöministeriö. 2017. Perustelumuistio ympäristöministeriön asetukseen rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 13.3.2018]. Saatavana: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B7606E754-F197-4AE8-B07D-660B0861CD38%7D/133776>

Ympäristöosaava. Ei päiväystä. Vedenkulutus. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavana: <http://www.ymparistoosaava.fi/sosiaali-ja-terveysala/index.php?k=22672>

## **LIITTEET**

Liite 1. Mittauspiste 1 mittaustulokset

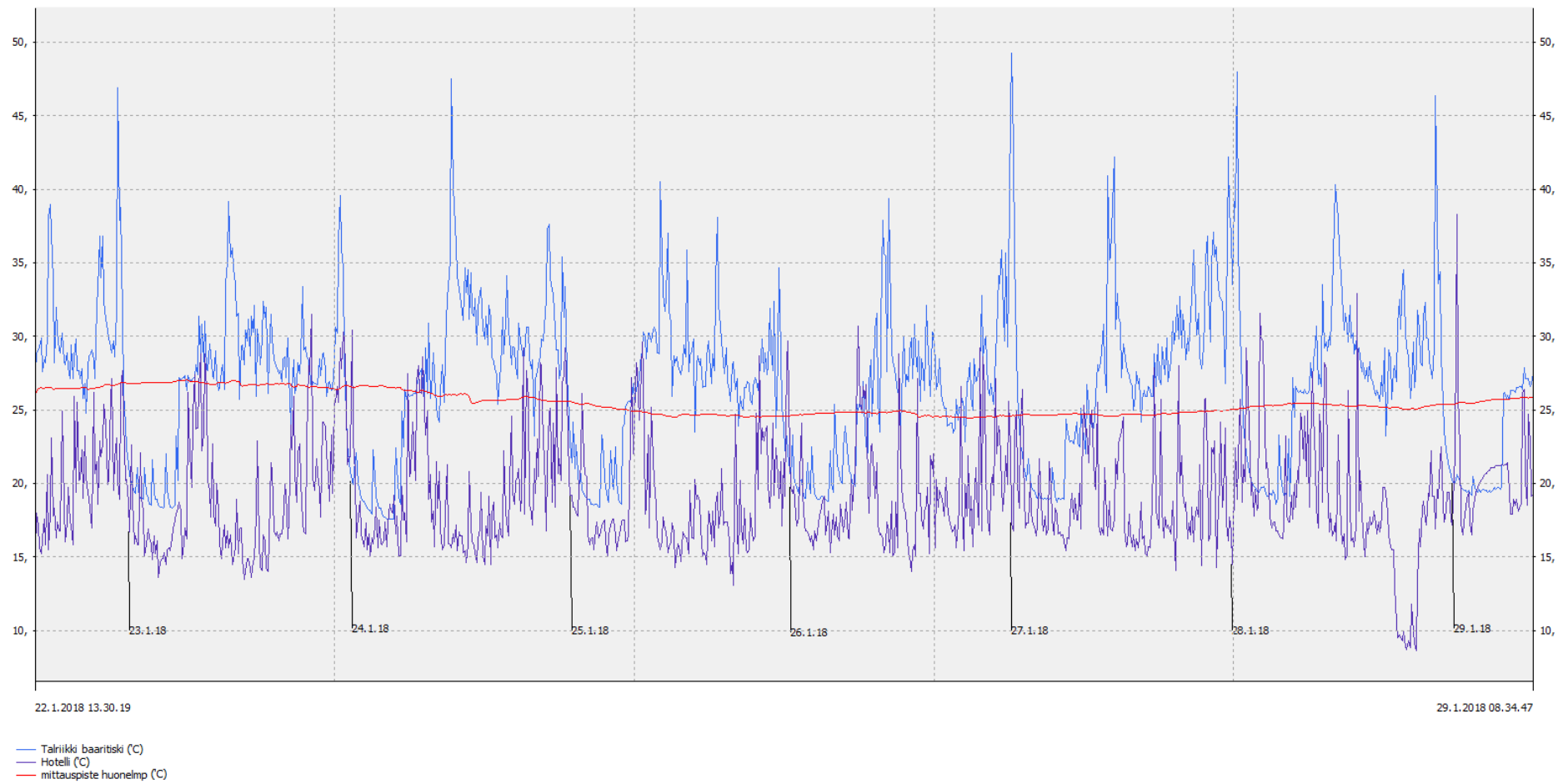
Liite 2. Mittauspiste 2 mittaustulokset

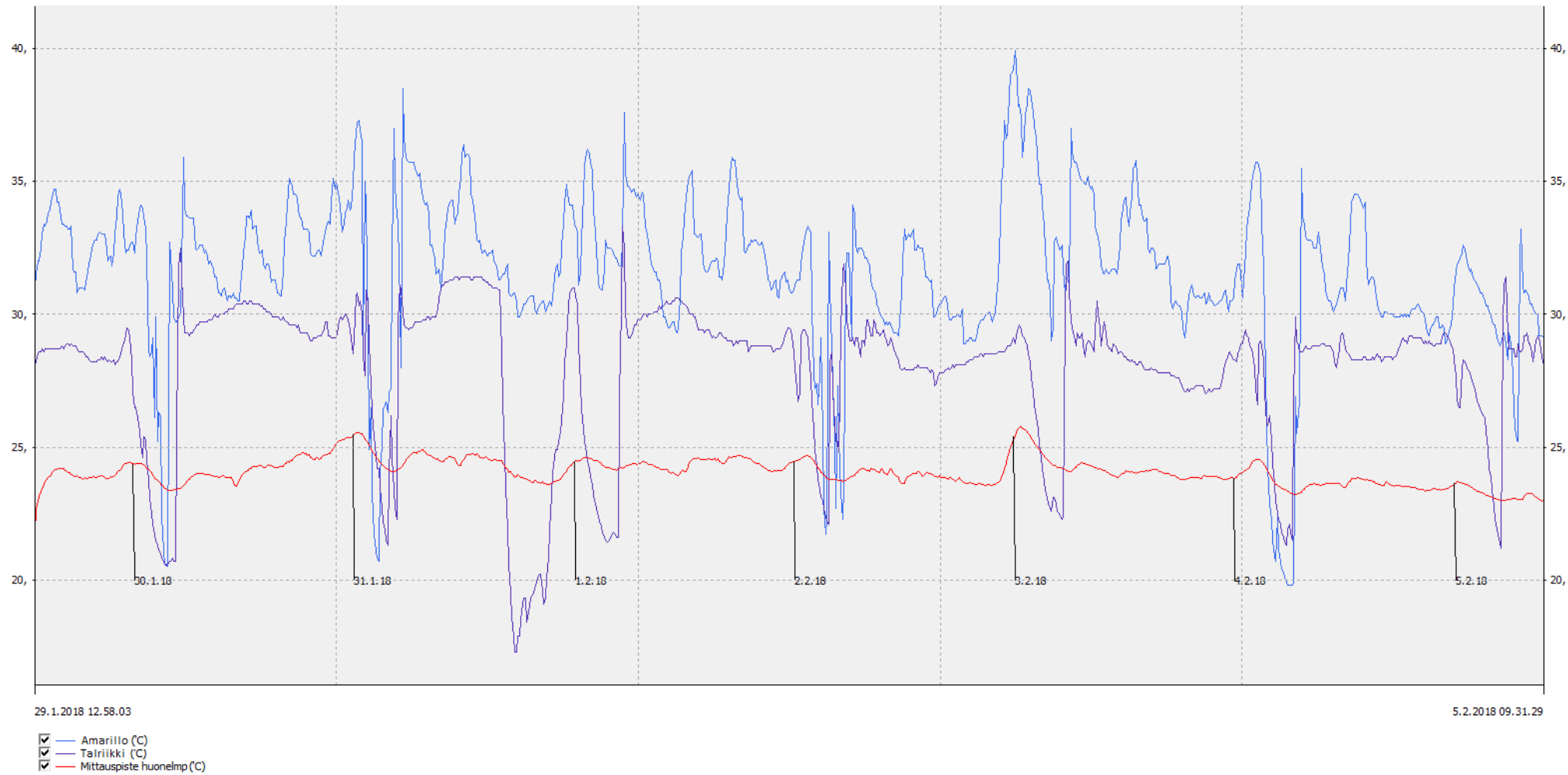
Liite 3. Ecowec-mitoitusohje

Liite 4 Energiateollisuus RY esimerkikykentä 1

Liite 5 Energiateollisuus RY esimerkikykentä 2

## LIITE 1 Mittauspiste 1 mittaustulokset



**LIITE 2 Mittauspiste 2 mittaustulokset**

### LIITE 3 Ecowec mitoitusohje

Lämpöpumppukytkentä - jätevesi alhaalta ylös – vaippaneste: etanoli 30 % - vesi 70 %

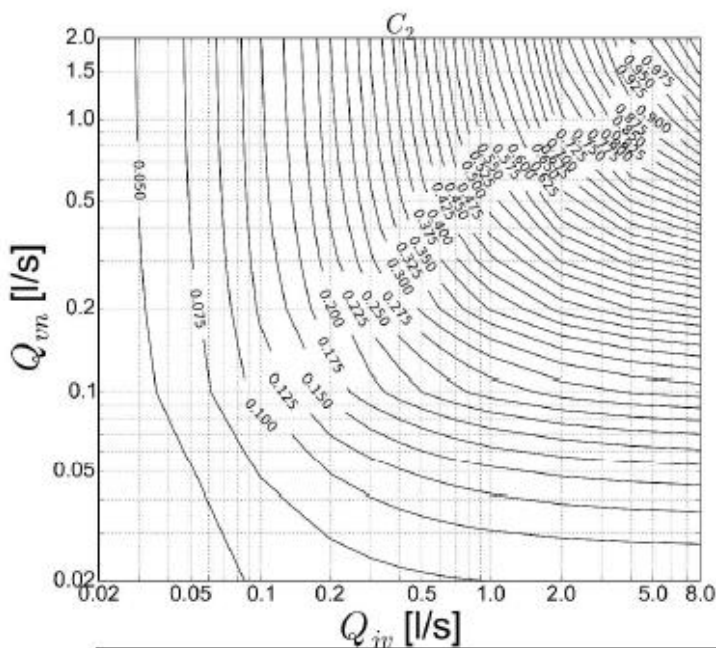
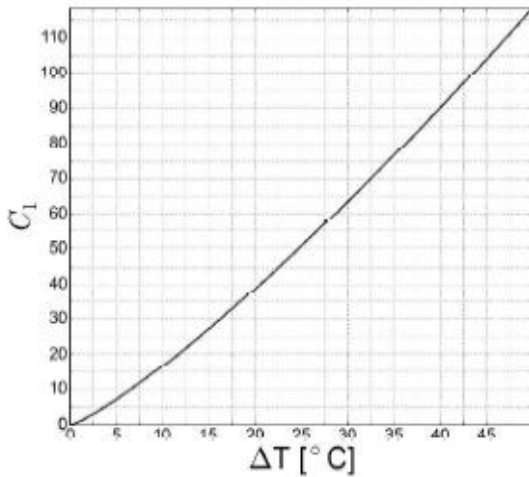
Selvitä jäteveden ja vaippanesteen tilavuusvirrat  $Q_{jv}$  ja  $Q_{vn}$

Laske maksimilämpötilaero:  $\Delta T = T_{jv\,in} - T_{vn\,in}$

Lue kuvasta  $C_1$  ja käyrästä  $C_2$

Laske hybridivaihtimen teho kilowatteina kaavasta

$$\phi = C_1 \times C_2 \quad [\text{kW}]$$



Teho vain suuntaa-antava! Teho voidaan tarkemmin määrittää esimerkiksi laskentamallilla.

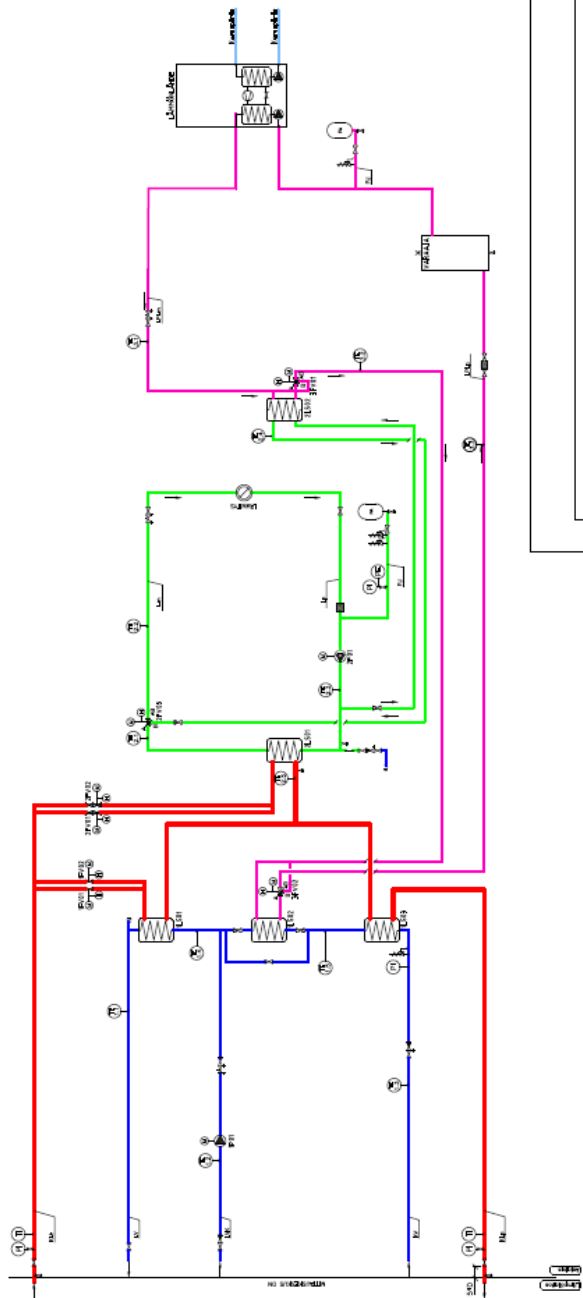
# LIITE 4 Energiateollisuus RY esimerkkikytkentä 1

Energiateollisuus ry  
Lämmönkäyttöryhmä

1.12.2017

ESIMERKKIKYTKENTÄ HYBRIDI 1 (ver 2)  
Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä

Hybridi 1 kytkentää käytetään, kun poistoilma-  
lämpöpumpun tai muun rinnakkaislämmönlähteen  
asentamisen yhteydessä myös rakennuksen  
kaukolämpölaitteet uusitaan.



**Käyttövesi (1)**  
Käyttöveden lämmityksessä hyödynnetään lämmönkeruujärjestelmän lämpöä silloin, kun sitä ei lämmityksessä tarvita.

**Säätö**  
Säädin säätelee menoveden lämpötilaa anturin mittauksen perusteella säätöventtiiliä sarjassa pitkin käyttöveden lämpötilan asetusarvoon.  
Asetusarvo on 58 °C.

**UV-pumppu**  
Käyttöveden kiertovesipumppu käy aina. Pumpun käynnittämistä puuttuu seuraava hälyys.

**Lämmitysväli (2)**

**Säätö**  
Säädin ohjaa lämmityksen menoveden mittauksen perusteella säätöventtiiliä sarjassa pitkin lämmityksen menoveden lämpötilan säätöarvoon mukaisessa asetusarvossa.

Lämmitysjärjestelmän ollessa varustettuna lämmönkeruujärjestelmällä, lämmitetään ensisijaisesti lämmönkeruujärjestelmän tuottamalla lämmöllä.  
Usalämmönlähteellä varmistetaan lämmön riittävyys.

Lämmityspiiri on joko suoraan lämmityspiiri, tai se toimii esisäätöpiirinä sen jäljessä oleville jälkisäätöpiireille. Esisäätöpiiri mukautuu jälkisäätöpiirin asetuksille. Jälkisäätöpiiri tullaan omilla säätimillä, jotka kytkyvät välillä järjestelmään.

**U-pumppu**

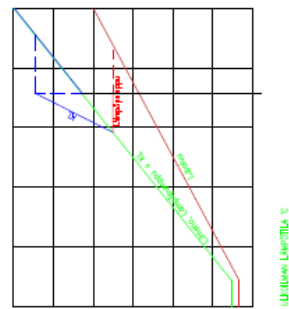
Lämmityspiiriin pumpun toimintatapa on aseteltavissa. Pumppu käy aina tai käynnistyy ulkolämpötilan laskiessa alle +27 °C ja pysähtyy lämpötilan noustessa +19 °C. Pumpun käynnittämistä riittää hälyys. Pumpun ollessa pysähtyneenä, käynnistetään se määrittämällä kerran viikossa jumiutumisen estämiseksi. Pumpun sammumista menel lämmityksen säätöventtiiliä kiinni.

Lämmityksen kaukolämmön paluujohdus 68°  
Lämmityksen kaukolämmön paluulämpötilan ollessa yli 4,0 °C korkeampi kuin lämmityksen paluulämpötilan, ohjataan venttiiliä 2PV03 sulki suuntaan A siihen asti, että lämpötilaero on alle 3 °C.

1 PATERIVERKOSTON TOIMINTALÄMPÖTILAT



1 PÄÄN TOIMINTALÄMPÖTILAT





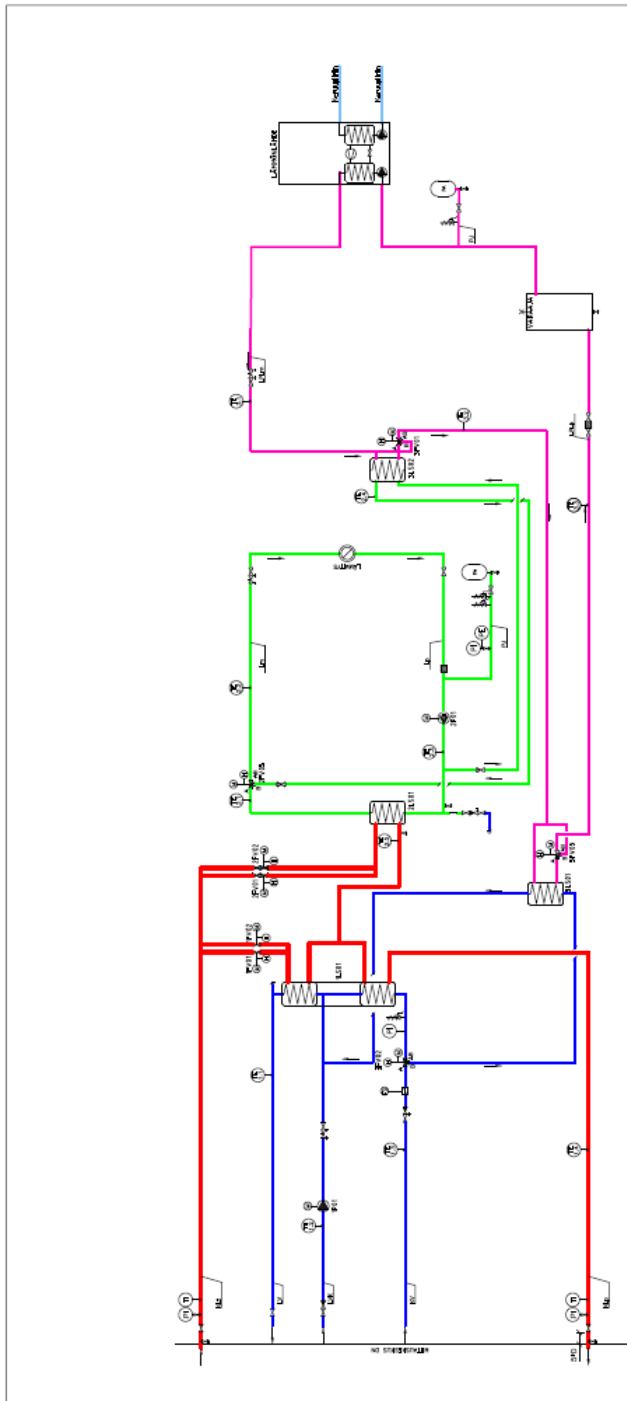
## LIITE 5 Energiateollisuus RY esimerkkikytkentä 2

Energiateollisuus ry  
Lämmönkäyttöryhmä

1.12.2017

ESIMERKKIKYTKENTÄ HYBRIDI 2 (ver 2)  
Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä

Hybridi 2 kytkentää voidaan käyttää silloin, kun kaukolämpölaitteet ovat suhteellisen uudet ja LVI-suunnittelija on varmistanut, että uusi laitteisto soveltuu mitoitukseltaan ja toimintoiltaan kytkettäväksi olemassa olevien laitteiden rinnalle



### Käyttöönotto (1)

Käyttöönoton lämmityksenä hyödynnetään lämmönkeruujärjestelmän lämpöä silloin, kun sitä ei lämmityksessä tarvita.  
3PVO2 -venttiili ohjautuu 3PVO3 -venttiilin mukaan. Jos lämmönkeruujärjestelmällä on saatavissa lämpöä käytettäväksi, ohjautuu 3PVO2 -venttiili auki suuntaan B. Muuten virtaus suuntaa venttiiliä on A > B.

### Säätö

Säädin säätää menoveden lämpötila-anturin mittauksen perusteella säätöventtiiliä siten, että pidetään lämpötilan asetustasoa.  
Virtaus anturilla FS emakoidaan säätöä. Asetusarvo on 38°C.

### UVY pumpu

Käytöksen kiemuroi pumpu käy aina. Pumpun käynnin puuttuessa seuraava hälyys.

### Lämmityspöytä (2)

#### Säätö

Säädin ohjaa lämmityksen menoveden mittauksen perusteella säätöventtiiliä siten, että pidetään menoveden lämpötilan säätöarvon mukaisessa asetusarvossa.

Lämmitysjärjestelmän olesse varustettuna lämmönkeruujärjestelmällä, lämmityksen ensisijaisesti lämmönkeruujärjestelmän tuottamalla lämmöllä. Jos lämmönlähteellä ei ole saatavissa lämpöä, lämmityksen siirtyy lämmityspöydän lämmitykseen.

#### U pumpu

Lämmityspöydän pumpun toimintatila on asetettavissa. Pumpu käy aina tai käynnistyy ulkoilämpötilan laskiessa alle -17°C ja pysähtyy lämpötilan nousiessa +19°C. Pumpun käynnistystä ristiinohjauksella Pumpun olesse pysähtyneenä, käynnistään se 1 min ajaksi kerran viikossa jumiutumisen estämiseksi. Pumpun sammussa menee lämmityksen säätöventtiili kiinni.

#### Lämmityksen kuulumisen paluujalitus, 2P

Lämmityksen kuulumisen paluujalitus on olesse yli 4,0 °C korkeampi kuin lämmityksen paluulämpötilan, ohjataan venttiiliä 3PVO3 auki suuntaan A siihen asti, että lämpötilaero on alle 3 °C.

### 1 PATERIVERKOSTON TOIMINTALÄMPÖTILAT



### 1 PIRIN TOIMINTALÄMPÖTILAT

